Zwei neue Arten, welche in dem Becken von Rein nicht vorkommen, lassen mich vermuthen, dass zwischen diesen nahe benachbarten und petrographisch so ähnlichen Ablagerungen doch einige Verschiedenheit bestehe. Ich hoffe bald ein Weiteres darüber mittheilen zu können.

Vorträge.

Beitrag zur Theorie der gemischten Farben [1].

Von J. Grailich,
Zögling am k. k. physicalischen Seminar.

(Mit 4 Tafeln.)

VIERTER ABSCHNITT.

Betrachtung der aus dem Zusammenwirken zweier homogener Strahlen des Spectrums resultirenden Schwingungscurven.

Es werden auch hier wieder zwei geradlinig, nach derselben Ebene polarisirte Strahlen, von verschiedene Wellenlänge zur Interferenz gebracht; bei der resultirenden Curve sind dann 3 Elemente zu bestimmen :

1. Die rhythmisch wiederkehrenden Wellenlängen innerhalb einer grossen Periode ;

2. die Amplitude, welche jedem dieser Wellenschläge entspricht;

3. die Intensität, mit welcher jeder dieser Wellenschläge zur Bildung des Gesammtlichteindruckes mitwirkt.

Die Wellenlängen und Amplituden sind gewählt worden, wie sie aus dem dritten Abschnitte (siehe Sitzungsberichte, Bd. XII, 1854) sich ergaben.

A. Wellenlängen des resultirenden Strahles.

Strenge genommen kann man hier nicht von Wellenlängen sprechen, wenigstens nicht in dem Sinne, wie es gemeiniglich zu geschehen pflegt, wo es gleichgiltig ist, ob man die Wegstrecke von einem Wellenberge zum anderen (Fresnel) oder das Intervall zwischen zwei homologen Knotenpunkten (Cauchy) so nennt; es sei jedoch erlaubt, hier unter diesem Namen jene Distanzen zu verstehen, welche zwischen je 2 Knotenpunkten der Resultirenden liegen : es wird nicht schwer sein diese Betrachtungsweise später zu rechtfertigen.

---

[1] Fortsetzung des Aufsatzes in den Sitzungsberichten. Bd. XII. S. 783; 1854.

Ist a die Amplitude des einen, b die des anderen Strahles, so wird

$$a \sin \frac{2\pi}{\lambda_1}\left(vt - \frac{n}{2}\lambda_1\right) + b \sin \frac{2\pi}{\lambda_2}\left(vt - \frac{m}{2}\lambda_2\right) = 0$$

die Lage dieser Knotenpunkte bestimmen. Setzen wir $\frac{a}{b} = A_1$ $\frac{2\pi}{\lambda_1} = c_1$, $\frac{2\pi}{\lambda_2} = c_2$ und $vt = x$, und lösen die Sinusse auf, so verwandelt sich diese Gleichung, da m und n ganze Zahlen sind, in die einfachere

$$A \sin c_1 x + \sin c_2 x = 0,$$

aus welcher nun x für die verschiedenen Mischfarben zu bestimmen ist. Zur Auflösung dieser transcendenten Gleichung diente die Methode, die Herr Simon Spitzer (Denkschriften der kais. Akademie der Wissenschaften, 1850) angegeben hat; setzt man nämlich voraus, x sei nahezu bekannt (und die Tafeln des zweiten Abschnittes enthalten die Näherungswerthe dieser Variablen, da sie für $A = 1$ berechnet wurden), so kann man setzen

$$x = x_1 + \Delta x$$

folglich, wenn $f(x) = 0$ auch $f(x_1 + \Delta x) = 0$. Nun ist aber nach dem Taylor'schen Theoreme

$$f(x_1 + \Delta x) = f(x_1) + \Delta x \frac{df(x_1)}{dx_1} + \frac{(\Delta x)^2}{1 \cdot 2} \cdot \frac{d^2 f(x_1)}{dx_1^2} + \frac{(\Delta x)^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot \frac{d^3 f(x_1)}{dx_1} + \ldots$$

und da Δx in unserem Falle stets eine gebrochene Zahl ist, da die ganzen Zahlen und zum Theil auch die erste Decimalstelle von x bekannt sind, die Rechnung aber nicht über die dritte Decimalstelle hinaus genau zu sein braucht, so verwandelt sich die transcendente Gleichung in eine algebraische des 3. Grades:

$$a_0 + a_1 \Delta x + a_2 (\Delta x)^2 + a_3 (\Delta x)^3 = 0$$

wo

$$a_0 = f(x_1) = A \sin c_1 x_1 + \sin c_2 x_1$$

$$a_1 = \frac{df(x_1)}{dx_1} = A c_1 \cos c_1 x_1 + c_2 \cos c_2 x_1$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2 f(x_1)}{dx_1^2} = -\frac{1}{2}\left(A c_1^2 \sin c_1 x_1 + c_2^2 \sin c_2 x_1\right)$$

$$a_3 = \frac{1}{6} \frac{d^3 f(x_1)}{dx_1^3} = -\frac{1}{6}\left(A c_1^3 \cos c_1 x_1 + c_2^3 \cos c_2 x_1\right)$$

bedeutet, welche Gleichung nach der bekannten Horner-Schulz'schen Methode leicht aufzulösen ist.

I. Violett. Als violette Grundfarbe wird in den folgenden Rechnungen jener Strahl genommen werden, der im Spectrum ganz

nahe an H, an der Seite gegen G hin liegt; seine Wellenlänge ist 400, seine Amplitude 0·07.

Violett-Indigo; $\lambda_v : \lambda_i = 12 : 13$, folglich ein Indigo zwischen G und F, etwa ein Achtel der Distanz GF an G; die Wellenlänge ist 436, die Amplitude 0·17. Die Gleichung, aus der x zu bestimmen ist, wird demnach sein

$$0·41 \sin 30x + \sin 27·692\, x = 0$$

und man erhält hieraus folgende Werthe von x innerhalb einer grossen Periode:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	6·347	423·1	+0·3	Violettlich Indigo.
6·347	6·351	423·4	+0·2	„ „
12·698	6·354	423·6	+0·8	„ „
19·052	6·366	424·4	+1·0	„ „
25·418	6·381	425·4	+1·7	Indigo.
31·799	6·407	427·1	2·1	Indigo.
38·206	6·438	429·2	3·1	(G) Indigo.
44·644	6·485	432·3	4·7	Mitte des Indigo.
51·129	6·555	437·0	6·8	Tiefschattig Blau.
57·684	6·658	443·8	8·3	Schattig Blau.
64·342	6·782	452·1	6·3	Grenze des Blau und Indigo.
71·124	6·876	458·4	0	Mitte Blau.
78·000	6·876	458·4	—6·3	
84·876	6·782	452·1	8·3	Grenze des Blau und Indigo.
91·658	6·658	443·8	6·8	Schattig Blau.
98·316	6·555	437·0	4·7	Tiefschattig Blau.
104·871	6·485	432·3	3·1	Mitte Indigo.
111·356	6·438	429·2	2·1	(G) Indigo.
117·794	6·407	427·1	1·7	Indigo.
124·201	6·381	425·4	1·0	Indigo.
130·582	6·366	424·4	0·8	Violettlich Indigo.
136·948	6·354	423·6	0·2	„ „
143·302	6·351	423·4	0·3	„ „
149·653	6·347	423·1		„ „
156·000		Beginn einer neuen Periode.		

Das kürzeste Intervall 423 liegt schon entschieden im Indigo, während das längste 458 in die Mitte des Blau fällt.

Violett-Blau; $\lambda_v : \lambda_b = 7 : 8$. Das Blau entspricht der Wellenlänge 458, der zugehörige Strahl im Spectrum liegt also nahezu mitten zwischen F und G, etwas näher an F; seine Amplitude ist 0·26. Die Gleichung zur Bestimmung der Intervalle ist folglich

$$0·27 \sin 51·429\, x + \sin 45\, x = 0$$

woraus für x folgende Werthe innerhalb der grossen Periode sich ergeben:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	3·887	444·23		
3·887	3·891	444·69	0·46	
7·778	3·917	447·66	2·97	Grenze Indigo-Blau.
11·695	3·956	452·12	4·46	
15·651	4·027	460 23	+ 8·11	Mitte Blau.
19·678	4·118	470·63	10·40	
23·796	4·204	480·45	9·82	
28·000	4·204	480·45	0	
32·204	4·118	470·63	− 9·82	
36·322	4·027	460·23	10·40	Mitte Blau.
40·349	3·956	452·12	8·11	
44·305	3·917	447·66	4·46	
48·222	3·891	444·69	2·97	Grenze Indigo-Blau.
52·113	3·887	444·23	0·46	
56·000	Beginn einer neuen Periode.			

Die kürzere Welle 444·23 liegt im Indigo an der Grenze zwischen Indigo und Blau, die längste 480·45 im Blau nahe an der Übergangsstelle von Blau in Grün.

Violett-Grün; $\lambda_v : \lambda_{gr} = 7 : 9$. Der grüne Strahl, dessen Wellenlänge diesem Verhältnisse entspricht, liegt zwischen F und E, von E um den vierten Theil des Intervalles EF entfernt; seine Wellenlänge ist 515, seine Amplitude 0·58. Zur Bestimmung der x erhalten wir folglich die Gleichung

$$0\cdot12 \, sin \, 51\cdot429 \, x + sin \, 40 \, x = 0$$

woraus folgende Werthe für die Dauer der grossen Periode berechnet werden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	4·385	501·16		
4·385	4·444	507·89	+ 6·73	
8·829	4·585	524·00	16·11	Mitte Grün.
13·414	4 683	535·20	11·20	Grenze Grün-Gelb.
18·097	4·575	522·86	12·34	
22·672	4·450	508·57	14·29	Mitte Grün.
27·122	4·378	500·34	8·23	
31·500	4·378	500·34	0	
35·878	4·450	508·57	+ 8·23	
40·328	4·574	522 86	14·29	Mitte Grün.
44·903	4·683	535·20	12·34	Grenze Grün-Gelb.
49·586	4·585	524·00	−11·20	
54·171	4·444	507·89	16·11	Mitte Grün.
58·615	4·385	501·16	6·73	
63·000	Beginn einer neuen Periode.			

Die Wellenlängen 500·34 und 535·20 liegen zwischen der Mitte des Grün und der Grenze von Gelb-Grün.

Violett-Gelb; $\lambda_v : \lambda_{ge} = 5 : 7$. Das Gelb, welches hier betrachtet wird, liegt im Spectrum etwas vor dem Maximum der Intensität, etwa in der Mitte zwischen D und E; seine Wellenlänge ist 560, seine Amplitude 0·93. Die transcendente Gleichung in x ist somit

$$0 \cdot 07 \, sin \, 72 \, x + sin \, 51 \cdot 429 \, x = 0$$

woraus folgende Werthe für die Knotenpunkte abgeleitet wurden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				
3·428	3·428	548·48	+14·56	
6·947	3·519	563·04	4·64	Mitte Gelb.
10·495	3·548	567·68	4·48	
14·071	3·576	572·16	−23·52	(Maximum der Intensität.)
17·500	3·426	548·64	0	Grüngelb.
20 929	3·426	548·64	+23·52	
24·505	3·576	572·16	−4·48	(Maximum der Intensität.)
28·053	3·548	567·68	4·64	
31·572	3·519	563·04	14·56	Mitte Gelb.
35·000	3·428	548·48		
	Beginn einer neuen Periode.			

Sowohl 548·48 als auch 573·16 sind Wellenlängen gelber Strahlen, wenn man als die Grenzen dieser Farbe die Zahlen 538 und 588 betrachtet.

Violett-Orange; $\lambda_v : \lambda_o = 2 : 3$. Das Orange dieser Mischung hat die Wellenlänge 600; es liegt ziemlich in der Mitte des Orange, etwa $^1/_5$ der Distanz $D\,C$ von D entfernt; seine Amplitude beträgt 0·71, demnach wird die Gleichung für x

$$0 \cdot 09 \, sin \, 180 \, x + sin \, 120 \, x = 0$$

wo x folgende Werthe entsprechen:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				
1·457	1·457	582·8	+34·4	Gelblich Orange.
3·000	1·543	617·2	0	Orangelich Roth.
4·543	1·543	617·2	−34·4	Orangelich Roth.
6·000	1·457	582·8		Gelblich Orange.

582·8 gehört dem oberen Ende von Gelb, 617·2 dem oberen Ende von Orange an.

Violett-Roth; $\lambda_v : \lambda_r = 8 : 13$. Das Roth liegt dicht an C gegen D hin; es hat die Wellenlänge 650, und die Amplitude 0·37. Hieraus leitet man folgende Gleichung ab:

$$0{\cdot}19 \sin 45\, x + \sin 27{\cdot}692\, x = 0$$

der folgende Werthe Genüge leisten:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				
6·106	6·106	610·6		Orange.
13·344	7·238	724·8	+114·2	(Purpur.)
19·617	6·273	627·3	— 97·8	Orangelich Roth.
25·621	7·017	701·7	+ 74·4	(Purpur.)
32·708	7·087	708·7	7·0	
39·226	6·518	651·8	— 56·9	Roth nahe C.
45·184	5·958	595·8	56	Gelblich Orange.
52·000	6·816	681·6	+ 85·8	Roth nahe B.
58·816	6·816	681·6	0	Roth nahe B.
64·774	5·958	595·8	— 85·8	Gelblich Orange.
71·292	6·518	651·8	+ 56	Roth nahe C.
78·379	7·087	708·7	56·9	
85·396	7·017	701·7	— 7	(Purpur.)
91·666	6·273	627·3	74·4	Orangelich Roth.
98·904	7·238	723·8	+ 97·8	(Purpur.)
104·000	6·106	610·6	—114·2	Orange.
	Beginn einer neuen Periode.			

Das Minimum der hier vorkommenden Wellen, 595·8, ist in der unteren Hälfte des Orange, das Maximum, 724·8, fällt weit über das sichtbare obere Ende hinaus.

II. Indigo. Als Grundfarbe wurde jener Strahl gewählt, der im Spectrum zunächst G gegen F hin liegt; die Wellenlänge ist 433, die Amplitude 0·16. Die übrigen Farben wurden wieder so genommen, dass das Verhältniss der Wellenlänge der gemischten Componenten möglichst einfach wurde.

Indigo-Blau; $\lambda_i : \lambda_b = 15 : 16$. Das entsprechende Blau gehört einem Strahle an, der im Spectrum zwischen G und F liegt, etwa $^2/_5$ dieser Distanz von F entfernt; die Wellenlänge ist 462, die Amplitude 0·27; hieraus leitet man die Gleichung

$$0{\cdot}65 \sin 24\, x + \sin 22{\cdot}5\, x = 0$$

ab, wo x folgende Werthe darstellt:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	7·795	450·0		
7·795	7·796	450·1	+ 0·1	Blau, gegen Indigo.
15·592	7·798	450·2	0·1	
23·390	7·803	450·5	0·3	
31·193	7·807	450·8	0·3	
39·000	7·817	451·3	0·5	
46·817	7·825	451·8	0·5	
54·642	7·842	452·7	0·9	
62·484	7·864	454·0	1·3	
70·348	7·898	456·0	2·0	
78·246	7·960	459·6	3·6	
86·206	8·038	464·0	4·4	Mitte Blau.
94·244	8·215	474·3	10·3	
102·459	8·545	493·3	19·0	*F.* Grenze Blau-Grün.
111·004	8·996	519·3	26·0	Mitte Grün.
120·000	8·996	519·3	0·0	
128·996	8·545	493·3	−26·0	Mitte Grün.
137·541	8·215	474·3	19·0	*F.* Grenze Blau-Grün.
145·756	8·038	464·0	10·3	
153·794	7·960	459·6	4·4	Mitte Blau.
161·754	7·898	456·0	3·6	
169·652	7·864	454·0	2·0	
177·516	7·842	452·7	1·3	
185·358	7·825	451·8	0·9	
193·183	7·817	451·3	0·5	
201·000	7·807	450·8	0·5	
208·807	7·803	450·5	0·3	
216·610	7·798	450·2	0·3	
224·408	7·796	450·1	0·1	
232·205	7·795	450·0	0·1	Blau, gegen Indigo.
240·000				

Beginn einer neuen Periode.

Die Wellenlängen dieser Mischung liegen von der untern Grenze des Blau bis hoch in der Mitte des Grün; 450·02 liegt nahe an der Grenze von Indigo-Blau (446·2), 519·3 aber nahe *E* (526·5), jenseits der Mitte des Grün (512).

Indigo-Grün; $\lambda_i : \lambda_{gr} = 5:6$. Das Grün dieser Mischung hat eine Wellenlänge von 519, eine Amplitude von 0·6, es liegt im Spectrum ganz nahe an *E*, gegen *F* hin. etwa ein Sechstel dieser Distanz von *E* entfernt. Die Gleichung für die Knotenpunkte des resultirenden Strahles ist

$$0{\cdot}29 \sin 72\, x + \sin 60\, x = 0$$

woraus für x folgende Werthe gefunden werden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	2·874	497·8		Bläulich Grün.
2·874	2·895	501·5	+ 3·7	
5·769	2·950	511·0	9·5	Mitte Grün.
8·719	3·062	530·3	19·3	Gelblich Grün.
11·781	3·219	557·4	27·1	Gelb.
15·000	3·219	557·4	0	Gelb.
18·219	3·062	530·3	—27·1	Gelblich Grün.
21·281	2·950	511·0	19·3	Mitte Grün.
24·231	2·895	501·5	9·5	
27·126	2·874	497·8	3·7	Bläulich Grün.
30·000	Beginn einer neuen Periode.			

Das Minimum 497·8 liegt nahezu an der Grenze von Blau und Grün, das Maximum 557·4 dagegen fast in der Mitte des Gelb.

Indigo-Gelb; $\lambda_i : \lambda_{ge} = 13 : 17$. Das Gelb liegt nahe am Maximum der Lichtintensität des Spectrums, etwa $^1/_3$ der Distanz *ED* von *D* gegen *E*; seine Wellenlänge ist 566, seine Amplitude 0·95; die Gleichung der x wird folglich

$$0{\cdot}17 \sin 27{\cdot}615\, x + \sin 21{\cdot}176\, x$$

woraus folgende x berechnet werden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	8·260	550·0		Gelb.
8·260	8·281	551·5	+ 1·5	
16·541	8·819	587·3	35·8	*(D)* Grenze Gelb-Orange.
25·360	9·003	599·6	12·3	Gelblich Orange.
34·363	8·574	570·9	—28·7	Orangelich Gelb.
42·937	8·242	548·9	22·0	Grünlich Gelb.
51·179	8·146	542·5	6·4	
59·325	8·258	549·9	+ 7·4	
67·583	8·554	569·6	19·7	Gelb (Max.).
76·137	9·003	599·6	30·0	Orange.
85·140	8·820	587·4	—12·2	*(D)* Grenze Gelb-Orange.
93·960	8·375	557·7	29·7	Gelb.
102·335	8·165	543·8	13·9	
110·500	8·165	543·8	0	
118·665	8·375	557·7	+13·9	Gelb.
127·040	8·820	587·4	29·7	*(D)* Grenze Gelb-Orange.
135·860	9·003	599·6	12·2	Orange.
144·863	8·554	569·6	—30·0	Gelb (Max.).
153·417	8·258	549·9	19 7	
161·675	8·146	542·5	7·4	
169·821	8·242	548·9	+ 6.4	Gelb.
178·063	8·574	570·9	22·0	Orangelich Gelb.
186·637	9·003	599·6	28·7	Orange.
195·640	8·819	587·3	—12·3	*(D)* Grenze Gelb-Orange,
204·459	8·281	551·5	35·8	
212·740	8·260	550·5	1·5	Gelb.
221·000	Beginn einer neuen Periode.			

Das Minimum der Wellenschläge 542·5 liegt in der grünlich gelben Region des Spectrums, jedoch mehr im Gelb als Grün; das Maximum 599·6 dagegen im Orange, gegen die gelbe Seite hin.

Indigo-Orange; $\lambda_i : \lambda_o = 13 : 18$. Das Orange dieser Mischung hat eine Wellenlänge von 599, eine Amplitude von 0·73; es gehört einem Strahle an, der im Spectrum nahe an *D*, etwa 1/6 der Distanz *CD* gegen *C* hin, liegt. Die transcendente Gleichung in x wird somit

$$0{\cdot}22 \sin 27{\cdot}692\, x + \sin 20\, x = 0$$

woraus folgende x berechnet wurden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	8·482	564·9		Mitte Gelb.
8·482	8·992	598·8	+33·9	Gelblich Orange.
17·474	9·921	660·7	61·9	Roth.
27·395	9·188	611·9	—48·8	Röthlich Orange.
36·583	8·533	568·2	43·7	Gelb.
45·116	8·450	562·8	5·4	
53·566	8·898	592·5	+29·7	Gelblich Orange.
62·464	9·766	650·4	57·9	Roth.
72·230	9·395	623·7	—26·7	Orangelich Roth.
81·625	8·604	573·0	50·7	Gelb.
90.229	8·435	561·8	11·2	
98.664	8·711	580·0	+18·2	
107·375	9·625	641·0	61·0	
117·000	9·625	641·0	0	Roth.
126·625	8·711	580·0	61·0	
135·336	8·435	561·8	18·2	
143·771	8·604	573·0	+11·2	Gelb.
152·375	9·395	623·7	50·7	Orangelich Roth.
161·770	9·766	650·4	26·7	Roth.
171·536	8·898	592·5	—57·9	Gelblich Orange.
180·434	8·450	562·8	29·7	Gelb.
188·884	8·533	568·2	+ 5·4	
197·417	9·188	611·9	43·7	Röthlich Orange.
206·605	9·921	660·7	48·8	Roth.
216·526	8·992	598·8	—61·9	Gelblich Orange.
225·518	8·482	564·9	33·9	Mitte Gelb.
234·000	Beginn einer neuen Periode.			

Die Wellenschläge dieses Gemisches schwanken zwischen 562·8, genau der Mitte von Gelb, und 660·7 aus der oberen Hälfte des Roth.

Indigo-Roth; $\lambda_i : \lambda_r = 2 : 3$. Das Roth dieser Mischung ist nahe an *C*, etwa ein Zehntel der Distanz *CD* gegen *D* hin; die Wellenlänge, welche dieser Stelle des Spectrums entspricht, ist 649, die Amplitude 0·37. Zur Ermittelung der Knotenpunkte dient daher die Gleichung

$$0{\cdot}43 \sin 180\, x + \sin 120\, x = 0$$

woraus folgende Werthe abgeleitet wurden

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				
	1·322	572·43		Im Gelb, nahe am Maximum.
1·322			+154·14	
	1·678	726·57		
3·000			0	Purpur.
	1·678	726·57		
4·678			—154·14	
	1·322	572·43		Im Gelb, nahe am Maximum.
6·000	Beginn einer neuen Periode.			

Die abwechselnden Wellenschläge dieses Gemenges liegen theils im Gelb des Spectrums, theils weit ausserhalb des sichtbaren Endes des Roth.

III. Blau. Die einfachsten Verhältnisse gegen die Wellenlängen der übrigen in der Mitte der 7 Hauptfarben liegenden Strahlen zeigt jener blaue Strahl, der in der Mitte des Blau, etwa $^1/_3$ der Distanz *F G* von *F* gegen *G* entfernt ist; seine Wellenlänge ist 460, seine Amplitude 0·26.

Blau-Grün; $\lambda_b : \lambda_{gr} = 8 : 9$. Das entsprechende Grün hat die Wellenlänge 502, die Amplitude 0·52; im Spectrum liegt es etwa $^2/_3$ der Distanz *EF* von *E* gegen *F* hin. Die Gleichung für die Knotenpunkte der resultirenden Curve ist somit

$$0{\cdot}5 \sin 55\, x + \sin 40\, x = 0$$

woraus folgende Werthe für x sich ergeben:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				
	4·320	496·8		
4·320			+ 0·7	Bläulich Grün.
	4·327	497·5		
8·647			1·0	
	4·335	498·5		
12·982			4·1	
	4·370	502·6		
17·352			5·0	
	4·414	507·6		
21·764			9·3	Mitte Grün.
	4·495	516·9		
26·259			21·4	
	4·681	538·3		Grenze Gelb-Grün.
30·940			43·6	
	5·060	581·9		
36·000			0	Orangelich Gelb.
	5·060	581·9		
41·060			—43·6	
	4·681	538·3		Grenze Gelb-Grün.
45·741			21·4	
	4·495	516·9		
50·236			9·3	Mitte Grün.
	4·414	507·6		
54·650			5·0	
	4·370	502·6		
59·020			4·1	
	4·335	498·5		
63·355			1·0	
	4·327	497·5		
67·682			0.7	Bläulich Grün.
	4·320	496·8		
72·000	Beginn einer neuen Periode.			

Die Wellenschläge schwanken zwischen 496·8, das nahe an der

Grenze des Blau und Grün (486·4), im Grün, und 581·9, das am obern Ende des gelben Streifens liegt.

Blau-Gelb; $\lambda_b : \lambda_{ge} = 4 : 5$. Das Gelb, das diesem Verhältnisse entspricht, hat die Wellenlänge 575, die Amplitude 0·95; es liegt im Spectrum nahe am Maximum der Lichtintensität, jedoch schon etwas gegen das obere (rothe) Ende hin. Die Gleichung zur Ermittelung der x wird folglich

$$0·27 \sin 90\, x + \sin 72\, x = 0$$

woraus wir ableiten:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				Gelb.
2·379	2·379	547·17	+ 8·28	
4·794	2·415	555·45	22·54	
7·307	2·513	577·99	41·40	Orangelich Gelb.
10·000	2·693	619·39	0	Röthlich Orange.
12·693	2·693	619·39	—41·40	Orangelich Gelb.
15·206	2·513	577·90	22·54	
17·621	2·415	555·45	8·28	Gelb.
20·000	2·379	547·17		
	Beginn einer neuen Periode.			

Die Wellenlängen dieses Gemisches liegen sämmtlich im Gelb und Orange; das Minimum 547·17 ist in der unteren grünlichen Hälfte des Gelb, das Maximum 619·39 ganz nahe an der Grenze, wo Roth und Orange sich das Gleichgewicht halten (622).

Blau-Orange; $\lambda_b : \lambda_o = 16 : 21$. Das Orange hat die Wellenlänge 604, die Amplitude 0·67; es liegt im Spectrum ziemlich genau in der Mitte des Orange, etwa $^3/_4$ der Distanz CD von C gegen D hin. Die Gleichung für x ist demnach

$$0·39 \sin 22·5\, x + \sin 17·143\, x = 0$$

woraus folgende Intervalle innerhalb einer grossen Periode sich ergeben:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	9·285	532·96		Gelblich Grün.
9·285	10·388	597·31	+64·35	Orange.
19·673	11·327	651·30	53·99	Roth.
31·000	12·287	706·50	55·20	(Purpur.)
43·287	10·292	592·10	—114·40	Gelblich Orange.
53·579	9·761	561·26	30·84	Gelb.
63·340	9·660	555·45	5·81	Gelb.
73·000	9·797	563·33	+ 7·88	Gelb.
82·797	10·556	606·97	43·64	Orange.

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
93·353	12·523	720·07	113·10	(Purpur.)
105·876	10·897	626·58	—93·49	Orangelich Roth.
116·773	9·885	568·39	58·19	Gelb.
126·658	9·671	556·08	12·31	Gelb.
136·329	9·718	558·79	3·04	Gelb.
146·047	10·216	587·42	+34·38	Grenze Orange Gelb.
156·263	11·737	674·88	87·46	
168·000	11·737	674·88	0	Roth.
179·737	10·216	587·42	—87·46	Grenze Orange Gelb.
189·953	9·718	558·79	34·38	Gelb.
199·671	9·671	556·08	+ 3·04	Gelb.
209·342	9·885	568 39	12·31	Gelb.
219·227	10·897	626·58	58·19	Orangelich Roth.
230·124	12·523	720·07	93·49	(Purpur.)
242·647	10·556	606·97	—113.10	Orange.
253·203	9·797	563·33	43·64	Gelb.
264·000	9·660	553·45	7·88	Gelb.
272·660	9 761	561·26	+ 5·81	Gelb.
282·421	10·292	592·10	30·84	Gelblich Orange.
292·713	12·287	706·50	114·40	(Purpur.)
305·000	11·327	651·30	—55·20	Roth.
316·327	10·388	597·31	53 99	Orange.
326·715	9·285	537·96	64·35	Gelblich Grün.
336·000				

Beginn einer neuen Periode.

Die Grenzwerthe der Wellenlängen dieses Gemisches sind 532·96, das noch im Grün liegt, wenn man nämlich 537·7 als Grenze zwischen Gelb und Grün annimmt, — und 720·07, das weit ausser der äussersten Grenze des Roth in den unsichtbaren Theil des Spectrums fällt.

Blau-Roth; $\lambda_b : \lambda_r = 16 : 23$. Das Roth entspricht der Wellenlänge 661, der Amplitude 0·3; liegt also $^4/_5$ der Distanz *BC* von *B* gegen *C* hin. Hieraus leitet man folgende Gleichung ab:

$$0{\cdot}86 \; sin \; 22{\cdot}5 \; x + sin \; 15{\cdot}652 \; x = 0$$

wo x folgende Werthe repräsentirt:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	8·998	517·4		Grün.
8·998	10·384	597·0	+79·6	Orange.
19·382	18·075	1039·3	442·3	(?)
37·457	9·639	554·2	—485·1	Gelb.
47·096	9·580	550·8	3·4	
56·676	9·617	553·0	+ 2·2	
66·293	17·967	1033·0	480·0	(?)
84·260	9·962	567·1	—465·9	Gelb.

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
94·162	9·615	552·9	14·2	
103·777	9·602	552·1	0·8	
113·379	9.734	559·6	+ 7·5	
123·113	18·086	1030·9	480·3	(?)
141·199	9·679	556·5	—473·4	Gelb.
150·878	9·571	550·3	— 6·2	
160·449	9·560	549·6	0	
170·009	13·991	804·5	—254·9	Purpur.
184·000	13·991	804·5	0	Purpur.
197·991	9·560	549·6	—254·9	Gelb.
207·551	9·571	550·3	+ 0·7	
217·122	9·679	556·5	6·2	
226·801	18·086	1039·9	—480·3	(?)
244·887	9·734	559·6	7·5	Gelb.
254·621	9·602	552·1	+ 0·8	
264·223	9·615	552·9	14·2	
273·838	9·902	567·1	465·9	(?)
283·740	17·967	1033·0	—480·0	Gelb.
301·707	9·617	553·0	2·2	
311·424	9·580	550·8	+ 3·4	
321·004	9·639	554·2	485·1	
330·643	18·075	1039·3	—442·3	(?)
348·718	10·384	597·0	79·6	Orange.
359·102	8·998	517·4		Grün.
368·000		Beginn einer neuen Periode.		

IV. Grün. Das Grün, das der Berechnung der folgenden Mischungen zu Grunde gelegt wurde, hat die Wellenlänge 512, die Amplitude 0·55; es liegt daher im Spectrum genau in der Mitte des grünen Streifens, oder genau in der Mitte des Raumes *EF*.

Grün-Gelb; $\lambda_{gr} : \lambda_{ge} = 9 : 10$. Dieses Gelb entspricht einer Wellenlänge 569, deren Amplitude 0·99 ist; es befindet sich daher fast genau an der Stelle des Maximums der Lichtintensität des Spectrums. Die Gleichung zur Berechnung der Knotenpunkte erhält daher folgende Gestalt:

$$0{\cdot}55 \sin 40\, x + \sin 36\, x = 0$$

woraus folgende x abgeleitet werden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				Grünlich Gelb.
4·811	4·811	547·4	+ 0·7	
9·628	4·817	548·1	0·5	
14·450	4·822	548·6	2·1	
19·290	4·840	550·7	3·3	
24·159	4·869	554·0	6·0	Mitte Gelb.
	4·922	560·0		

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
29·081	5·023	571·5	11·5	
34·104	5·251	597·4	25·9	Gelblich Orange.
39·355	5·645	642·3	44·9	
45·000	5·645	642·3	0	Roth.
50·645	5·251	597·4	−44·9	Gelblich Orange.
55·896	5·023	571·5	25·9	
60·919	4·922	560·0	11·5	Mitte Gelb.
65·841	4·869	554·0	6·0	
70·710	4·840	550·7	3·3	
75·550	4·822	548·6	2·1	
80·372	4·817	548·1	0·5	Grünlich Gelb.
85·189	4·811	547·4	0·7	
90·000	Beginn einer neuen Periode.			

Grün-Orange; $\lambda_{gr} : \lambda_o = 6 : 7$. Das Orange befindet sich im Spectrum mehr an der fixen Linie *D*, etwa $1/7$ der Distanz *DC* von *D* entfernt; es hat eine Wellenlänge = 597, eine Amplitude = 0·73. Die Gleichung zur Ermittelung der Intervalle wird daher

$$0·75 \sin 60\, x + \sin 51·429\, x$$

wonach folgende Tafel berechnet wurde:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				Gelb.
3·267	3·267	557·57	+0·85	
6·539	3·272	558·42	1·36	
9·819	3·280	559·78	5·64	
13·132	3·313	563·42	17·57	Orangelich Gelb.
16·558	3·416	582·99	165·09	
21·000	4·442	758·08		Purpur.
25·442	4·442	758·08	0	
28·858	3·416	582·99	165·09	
32·171	3·313	563·42	17·57	Orangelich Gelb.
35·451	3·280	559·78	5·64	
38·723	3·272	558·42	1·36	
42·000	3·267	557·57	0·85	Gelb.
	Beginn einer neuen Periode.			

Grün-Roth; $\lambda_{gr} : \lambda_r = 18 : 23$. Das Roth, das diesem Verhältnisse entspricht, hat eine Wellenlänge von 654, eine Amplitude von 0·33; es liegt im Spectrum dicht an der fixen Linie *C*, und zwar auf der unteren Seite. Die transcendente Gleichung, die aus diesen Daten abgeleitet wird, ist

$$1·66 \sin 20\, x + \sin 15·652\, x = 0$$

nach welcher folgende Oscillations-Intervalle berechnet wurden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				Gelb.
9·789	9·789	556·9	— 5·5	
19·481	9·692	551·4	18·3	Grünlich Gelb.
28·850	9·369	533·1	58·4	Grünlich Blau.
37·192	8·342	474·7	78·6	*H* in d. untern Hälfte d. Violett.
44·153	6·961	396·1	+66·0	Blau.
52·275	8·122	462·1	57·5	Gelblich Grün.
61·407	9·132	519·6	29·7	Grünlich Gelb.
71·062	9·655	549·3	6·9	Gelb.
80·837	9·775	556·2	1·2	
90·634	9·797	557·4	— 4·2	
100·358	9·724	553·2	15·9	Grenze zwischen Grün u. Gelb.
109·802	9·444	537·3	33·9	Schwach bläulich Grün.
118·650	8·848	503·4	111·1	Violett, jenseits *H*.
125·546	6·896	392·3	+44·1	Indigo.
133·218	7·672	436·4	137·8	Gelb.
143·310	10·092	574·2	—84·5	Grün-Blau.
151·917	8·607	489·7	+65·8	Gelb.
161·681	9·764	555·5	2·1	
171·478	9·797	557·4	— 2·9	
181·224	9·746	554·5	11·4	Grünlich Gelb.
190·769	9·545	543·1	37·3	Bläulich Grün.
199·658	8·889	505·8	88·0	
207·000	7·342	417·8	0	Bläulich Violett.
214·342	7·342	417·8	+88·0	Bläulich Grün.
224·231	8·889	505·8	37·3	Grünlich Gelb.
233·776	9·545	543·1	11·4	Gelb.
243·522	9·746	554·5	2·9	
253·319	9·797	557·4	— 2·1	
263·083	9·764	555·5	65·8	Grün-Blau.
271·690	8·607	489·7	+84·5	Gelb.
281·782	10·092	574·2	—137·8	Indigo.
289·454	7·672	436·4	44·1	Violett, jenseits *H*.
296·350	6·896	392·3	+111·1	Schwach bläulich Grün.
305·198	8·848	503·4	33·9	Grün-Gelb.
314·642	9·444	573·3	15·9	Gelb.
324·366	9·724	553·2	4·2	
334·163	9·797	557·4	— 1·2	
343·938	9·775	556·2	16·9	Grünlich Gelb.
353·593	9·655	549·3	29·7	Gelblich Grün.
362·725	9·132	519·6	57·5	Blau.
370·847	8·122	462·1	66·0	*H* in d. untern Hälfte d. Violett.
377·808	6·961	396·1	+78·6	Grünlich Blau.
386·150	8·342	474·7	58·4	Grünlich Gelb.
395·519	9·369	533·1	18·3	Gelb.
405·211	9·692	551·4	5·5	
414·000	9·789	556·9		
		Beginn einer neuen Periode.		

V. Gelb. Als Grundfarbe in den folgenden Mischungen wurde ein Gelb gewählt, das zwischen *E* und *D* etwa $^2/_3$ dieser Strecke von *E* gegen *D* liegt. Die Wellenlänge daselbst ist 563, die Amplitude 0·94.

Gelb-Orange; $\lambda_{gr} : \lambda_{o} = 14 : 15$. Das Orange hat die Wellenlänge 603, die Amplitude 0·68 und entspricht einem Strahle, der im Spectrum etwa $^1/_3$ der Distanz DC von D gegen C hin sich befindet. Die Gleichung in x wird daher

$$1{\cdot}38 \sin 25{\cdot}714\, x + \sin 24\, x = 0$$

wonach folgende Daten gewonnen werden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0	7·202	579·1		Orangelich Gelb.
7·202	7·200	578·9	— 0·2	
14·402	7·199	578·7	0·2	
21·601	7.196	578·5	0·2	
28·797	7·191	578·1	0·4	
35·988	7·185	577·6	0·5	
43·173	7·175	576·8	0·8	
50·348	7·160	575·6	1·2	
57·508	7·143	574·2	1·4	
64·651	7·105	571·2	3·0	
71·756	7·051	566·9	4·3	Mitte Gelb.
78·807	6·936	557.7	9·2	
85·743	6·708	539·3	18·4	Grün-Gelb.
92·451	6·502	522·7	26·6	Gelblich Grün.
98·953	6·047	486·2	36·5	
105·000			0	Blau-Grün.
111·047	6·047	486·2	+36·5	
117·549	6·502	522·7	26·6	Gelblich Grün.
124·257	6·708	539·3	18·4	Grün-Gelb.
130·193	6·936	557·7	9·2	Mitte Gelb.
137·244	7·051	566·9	4·3	
144·349	7·105	571·2	3·0	
151·492	7·143	574·2	1·4	
158·652	7·160	575·6	1·2	
165·827	7·175	576·8	0·8	
173·012	7·185	577·6	0·5	
180·203	7·191	578·1	0·4	
187·399	7·196	578·5	0·2	
194·598	7·199	578·7	0·2	
202·798	7·200	578·9	0·2	
210·000	7·202	579·1		Beginn einer neuen Periode.

Gelb-Roth; $\lambda_{ge} : \lambda_{r} = 7 : 8$. Diesem Roth entspricht jener Farbenton des Spectrums, der $^1/_6$ der Distanz CD von C gegen D hin liegt; die zugehörige Wellenlänge ist 643, und die Amplitude 0·40, woraus folgende Gleichung abzuleiten ist:

$$2{\cdot}35 \sin 51{\cdot}429\, x + \sin 45\, x = 0$$

nach welcher für x die nachfolgenden Werthe gewonnen werden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				Orangelich Gelb.
3·634	3·634	584·3	— 0·9	
7·262	3·628	583·4	2·7	
10·873	3·611	580·7	4·7	Gelb.
14·455	3·582	576·0	7·6	
17·990	3·535	568·4	13·9	
21·439	3·449	554·5	34·4	Gelblich Grün.
24·774	3·235	520·1	1·3	
28·000	3·226	518·8	0	
31·226	3·226	518·8	+ 1·3	Gelblich Grün.
34·461	3·235	520·1	34·4	Gelb.
37·910	3·449	554·5	13·9	
41·445	3·535	568·4	7·6	
45·027	3·582	576·0	4·7	Orangelich Gelb.
48·638	3·611	580·7	2·7	
52·266	3·628	583·4	0·9	
56·000	3·634	584·3		Beginn einer neuen Periode.

VI. Orange. Das Orange, das der folgenden Rechnung zu Grunde gelegt wurde, befindet sich im Spectrum genau in der Mitte des orangenen Streifens, etwa ¼ der Distanz *DC* von *D* gegen *C* hin. Seine Wellenlänge ist = 605, die Amplitude = 0·67.

Orange-Roth; $\lambda_0 : \lambda_r = 12 : 13$. Das Roth dieser Mischung hat eine Wellenlänge von 655, eine Amplitude von 0·33; es befindet sich im Spectrum dicht neben der fixen Linie *C*, an der unteren Seite. Aus diesen Daten erhalten wir folgende Gleichung

$$2{\cdot}03 \sin 30\, x + \sin 27{\cdot}692\, x = 0$$

aus der die Werthe der folgenden Tafel berechnet wurden:

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
0				Orange-Roth.
6·177	6·177	622·7	— 4·6	Röthlich Orange.
12·309	6·132	618·1	+ 0·8	
18·449	6·140	618·9	1·1	
24·600	6·151	620·0	— 2·4	
30·727	6·127	617·6	1·4	
36·840	6·113	616·2	2·7	Orange.
42·927	6·087	613·5	+ 0·7	
49·021	6·094	614·2	—14·2	
54·974	5·953	600·0	3·4	Gelblich Orange.
60·893	5·919	596·6	10·6	Orangelich Gelb.
66·707	5·814	586·0	17·3	Gelb.
72·359	5·652	569·7	1·1	
78·000	5·641	568·6	0	
83·641	5·641	568·6	+ 1·1	
89·293	5·652	569·7	17·3	Orangelich Gelb.

Abscisse der Knotenpunkte	Differenz	Wellenlänge	Differenz	Entsprechende Stelle im Spectrum
95·107	5·814	586·0	10·6	
101·026	5·919	596·6	3·4	Gelblich Orange.
106·979	5·953	600·0	14·2	Orange.
113·073	6·094	614·2	0·7	
119·160	6·087	613·5	+ 2·7	Röthlich Orange.
125·273	6·113	616·2	1·4	
131·400	6·127	617·6	2·4	
137·551	6·151	620·0	— 1·1	
143·691	6·140	618·9	0·8	
149·823	6·132	618·1	+ 4·6	Orange-Roth.
156·000	6·177	622·7		
		Beginn einer neuen Periode.		

B. Amplituden des resultirenden Strahles.

Die Gleichung des resultirenden Strahles ist

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda_1} x + b \sin \frac{2\pi}{\lambda_2} x;$$

um die grössten Abweichungen aus der Ruhelage der oscillirenden Theilchen zu erfahren, muss diese Gleichung differentiirt und der erste Differentialquotient gleich Null gesetzt werden; man erhält so

$$\frac{dy}{dx} = a \frac{2\pi}{\lambda_1} \cos \frac{2\pi}{\lambda_1} x + b \frac{2\pi}{\lambda_2} \cos \frac{2\pi}{\lambda_2} x = 0$$

das ist

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cos \frac{2\pi}{\lambda_1} x + \cos \frac{2\pi}{\lambda_2} x = 0,$$

nach welcher Gleichung die folgenden Tafeln gerechnet worden sind. Die erste Columne enthält die Abscisse, für welche ein Maximum eintritt; die zweite die Phase des einen Strahles in dieser Abscisse; die dritte den zu dieser Phase gehörigen Ausschlag; die vierte die Phase des anderen componirenden Strahles für die Abscisse der ersten Columne; die fünfte den zu dieser Phase gehörigen Ausschlag des zweiten Strahles; dies echste die Amplitude des resultirendenStrahles.

Es versteht sich von selbst, dass dieselben Componenten beibehalten wurden, welche in den Tafeln der Wellenlängen der Rechnung zu Grunde gelegt wurden.

I. Violett. $\lambda = 400$; $a = 0{\cdot}07$.

Violett-Indigo; $\lambda_v : \lambda_i = 12:13$. Es ist $\lambda_i = 436$, $b = 0{\cdot}17$; folglich die Gleichung zur Bestimmung der Abscissen

$$0{\cdot}44 \cos 30\, x + \cos 27{\cdot}692\, x = 0$$

wonach folgende Tafel berechnet wurde:

Abscisse der Maxima	Violett		Indigo		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
3·170	95°10	+0·0697	87°78	+0·1698	+0·2395
9·510	285·30	−0·0675	263·35	−0·1688	−0·2363
15·855	115·65	+0·0631	79·05	+0·1669	+0·2300
22·206	306·18	−0·0565	254·92	−0·1642	−0·2207
28·571	137·13	+0·0476	71·17	+0·1580	+0·2056
34·954	328·62	−0·0364	247·94	−0·1575	−0·1939
41·369	161·07	+0·0227	65·59	+0·1548	+0·1775
47·853	355·59	−0·0054	245·06	−0·1542	−0·1596
54·323	189·69	−0·0118	64·31	+0·1532	+0·1414
60·924	27·72	+0·0326	247·10	−0·1567	−0·1241
67·653	229·59	−0·0533	73·43	+0·1629	+0·1096
74·526	75·78	+0·0678	263·78	−0·1690	−0·1012
81·474	284·22	−0·0678	96·22	+0·1690	+0·1012
88·347	130·41	+0·0533	286·57	−0·1629	−0·1096
95·076	332·28	−0·0326	112·90	+0·1567	+0·1241
101·677	110·31	+0·0118	295·69	−0·1532	−0·1414
108·147	4·41	+0·0054	54·94	+0·1542	+0·1596
114·631	198·93	−0·0227	294·41	−0·1548	−0 1775
121·046	31·38	+0·0364	112·06	+0·1575	+0·1939
127·429	222·87	−0·0476	288·83	−0·1580	−0·2056
133·794	53·82	+0 0565	105·08	+0·1642	+0·2207
140·145	244·35	−0·0631	280·95	−0·1669	−0·2300
146·490	74·70	+0·0675	96·65	+0·1688	0·2363
152·820	264·90	−0·0697	272·22	−0·1698	−0·2395

Violett-Blau; $\lambda_v : \lambda_b = 7 : 8$. Es ist $\lambda_b = 458$, $b = 0·26$; daher die gesuchte transcendente Gleichung

$$0·309 \cos 51·429\, x + \cos 45\, x = 0$$

woraus folgende Werthe erhalten werden:

Abscisse der Maxima	Violett		Blau		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
1·935	99°51	+0·0690	87°07	+0·2596	+0·3286
5·810	298·79	−0·0613	261·45	−0·2571	−0·3184
10·069	157·83	+0·0264	93·11	+0·2598	+0·2862
13·788	349·10	−0·0132	260·46	−0·2564	−0·2696
17·602	185·25	−0·0064	72·09	+0·2474	+0·2410
21·711	36·57	+0·0417	257·00	−0·2533	−0·2116
25·897	251·85	−0·0665	85·37	+0·2591	+0·1926
30·103	108·15	+0·0665	274·63	−0·2591	−0·1926
34·289	323·43	−0·0417	103·00	+0·2533	+0·2116
38 398	174·75	+0·0064	187·91	−0·2474	−0·2410
42·212	10·90	+0 0132	99·54	+0·2564	+0·2696
45·931	202·17	−0·0264	266·89	−0·2598	−0·2862
50·190	61·21	+0·0613	98·55	+0·2571	+0·3184
54·065	260·49	−0·0690	272·93	−0·2596	−0·3286

Violett-Grün; $\lambda_v : \lambda_{gr} = 7 : 9$. Es ist $\lambda_{gr} = 515$, $b = 0·58$; daher die Gleichung zur Ermittelung der Abscissen der Maximumausschläge

$$0{\cdot}15 \cos 51{\cdot}429\, x + \cos 40\, x = 0$$

woraus die Daten dieser Tafel berechnet werden:

Abscisse der Maxima	Violett		Grün		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
2·171	111°65	+0·0650	86°84	+0·5791	+0·6441
6·552	336·95	—0·0274	262·04	—0·5744	—0·6018
11·055	191·45	—0·0334	82·20	+0·5746	+0·5412
15·753	90·15	+0·0699	270·12	—0·5799	—0·5100
20·503	334·44	—0·0302	100·12	+0·5709	+0·5407
24·946	202·96	—0·0274	277·84	—0·5746	—0·6018
29·329	68·36	+0·0650	93·16	+0·5791	+0·6441
33·671	291·64	—0·0650	266·84	—0·5791	-0·6441
38·054	157·04	+0·0274	82·16	+0·5746	+0·6018
42.497	25·56	+0·0302	259·88	—0·5709	—0·5407
47·247	269·85	—0·0699	89·88	+0·5799	+0·5100
51·945	168·55	+0·0334	277·80	—0·5746	—0·5412
56·448	23·05	+0·0274	97 96	+0·5744	+0·6018
60·829	248·35	—0·0650	273·16	—0·5791	—0·6441

Violett-Gelb; $\lambda_v : \lambda_{ge} = 5 : 7$. Es ist $\lambda_{ge} = 560$, $b = 0{\cdot}93$; folglich die Gleichung zur Bestimmung der Maxima

$$0{\cdot}1 \cos 72\, x + \cos 51{\cdot}429\, x = 0$$

woraus folgende Werthe sich ergeben:

Abscisse der Maxima	Violett		Gelb		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
1·710	123°12	+0·0583	87°94	+0·9294	+0·9877
5·188	12·54	+0·0164	266·80	—0·9285	—0·9121
8·751	270·07	- 0·0699	90·05	+0·9299	+0·8600
12·361	170·00	+0·0164	275·71	—0·9285	—0·9121
15·811	58·39	+0·0583	93·13	+0·9294	+0·9877
19·189	301·61	—0·0583	266·87	—0·9294	—0·9877
22·639	190 00	—0·0164	84·29	+0·9285	+0·9121
26·249	89·93	+0·0699	269·95	—0·9299	—0·8600
29·812	346·46	—0·0164	93·20	+0·9285	+0·9121
33·290	236·88	—0·0583	272·06	—0·9294	—0·9877

Violett-Orange $\lambda_v : \lambda_o = 2 : 3$. Es ist $\lambda_o = 600$, $b = 0{\cdot}71$; folglich die Gleichung zur Bestimmung der Maxima

$$0{\cdot}13 \cos 180\, x + \cos 120\, x = 0$$

woraus die Daten der folgenden Tafel berechnet werden:

Abscisse der Maxima	Violett		Orange		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
0·712	128°16	+0·0548	85°44	+0·7077	+0·7625
2·200	36·00	+0·0411	264 00	—0·7061	—0·6650
3·800	324·00	—0 0411	96·00	+0·7061	+0·6650
5·288	231·84	—0·0548	274·56	—0·7077	—0·7625

Violett-Roth; $\lambda_v : \lambda_r = 8 : 13$. Es ist $\lambda_r = 650$, $b = 0{\cdot}37$; folglich die Gleichung zur Ermittelung der Maxima

$$0{\cdot}31 \cos 45\, x + \cos 27{\cdot}692\, x = 0$$

aus welcher folgende Tafel berechnet wurde:

Abscisse der Maxima	Violett		Roth		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
2·848	128°16	+0·0550	78°85	+0·3630	+0·4180
9·511	68·00	+0·0649	263·38	—0·3675	—0·3026
16·787	35·42	+0·0405	104·85	+0·3579	+0·3984
22·503	292·64	—0·0645	263·15	—0·3672	—0·4317
28·696	211·32	—0·0363	74·64	+0·3567	+0·3204
36·373	196·79	—0·0202	287·24	—0·3534	—0·3736
42·176	97·92	+0·0693	87·93	+0·3697	+0·4390
48·100	4·50	+0·0055	252·00	—0·3159	—0·3464
55·900	355·50	—0·0055	108·00	+0·3159	+0·3464
61·824	262·08	—0·0693	272·07	—0·3697	—0·4390
67·827	103·21	+0·0202	72·76	+0·3534	+0·3736
75·304	148·68	+0·0363	285·36	—0·3567	—0·3204
81·497	67·36	+0·0645	96·85	+0·3672	+0·4317
87·213	324·58	—0·0405	255·15	—0·3579	—0·3984
94·489	292·00	—0·0649	96·62	+0·3675	+0·3026
101·152	231·84	—0·0550	281·15	—0·3630	—0·4180

II. Indigo. $\lambda = 433$; $a = 0{\cdot}16$.

Indigo-Blau; $\lambda_i : \lambda_b = 15 : 16$. Es ist $\lambda_b = 462$, $b = 0{\cdot}27$; folglich die Gleichung zur Berechnung der Maxima:

$$0{\cdot}69 \cos 24\, x + \cos 22{\cdot}5\, x = 0$$

mittelst welcher die Zahlen der folgenden Tafel erhalten wurden:

Abscisse der Maxima	Indigo		Blau		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
3·892	93°41	+0·1597	87°67	+0·2697	+0·4294
11·683	280·39	—0·1574	262·87	—0·2678	—0·4252
19·463	67·11	+0·1529	77·92	+0·2640	+0·4169
27·265	294·36	—0·1443	253·46	—0·2588	—0·4031
35·057	121·36	+0·1366	68·78	+0·2516	+0·3882
42·861	308·66	—0·1249	244·37	—0·2434	—0·3683
50·673	136·15	+0·1108	60·14	+0·2341	+0·3449
58·495	323·88	—0·0942	236·14	—0·2242	—0·3184
66·333	151·99	+0·0751	52·49	+0·2142	+0·2893
74·195	340·68	—0·0530	229·39	—0·2049	—0·2579
82·118	170·83	+0·0254	47·66	+0·1995	+0·2249
90·061	1·46	+0·0008	226·37	—0·1953	—0·1945
98·148	205·55	—0·0429	48·32	+0·2017	+0·1588
106·483	35·59	+0·0931	235·96	—0·2234	—0·1303
115·316	247·58	—0·1478	73·61	+0·2603	+0·1125
124·684	52·42	+0·1478	286·39	—0·2603	—0·1125
133·517	324·41	—0·0931	124·04	+0·2234	+0·1303
141·852	154·45	+0·0429	311·68	—0·2017	—0·1588

Abscisse der Maxima	Indigo		Blau		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
149·939	358°54	−0·0008	133°63	+0·1953	+0·1945
157·882	189·17	−0·0254	312·34	−0·1995	−0·2249
165·805	19·32	+0·0530	130·61	+0·2049	+0·2579
173·667	208·01	−0·0751	307·51	−0·2142	−0·2893
181·505	36·12	+0·0942	123·86	+0·2242	+0·3184
189·327	223·85	−0·1108	299·86	−0·2341	−0·3449
197·139	51·34	+0·1249	115·63	+0·2434	+0·3683
204·943	238·64	−0·1366	291·22	−0·2516	−0·3882
212·735	65·64	+0·1443	106·54	+0·2588	+0·4031
220·537	292·89	−0·1529	282·08	−0·2640	−0·4169
228·317	79·61	+0·1574	97·13	+0·2678	+0·4252
236·108	266·59	−0.1597	272·33	−0·2697	−0·4294

Indigo-Grün; $\lambda_i : \lambda_{gr} = 5 : 6$. Es ist $\lambda_{gr} = 519$. $b = 0{\cdot}60$; folglich die Gleichung in x

$$0{\cdot}35 \cos 72\, x + \cos 60\, x = 0$$

aus der folgende Werthe berechnet wurden:

Abscisse der Maxima	Indigo		Grün		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
1·426	102°37	+0·1561	85°56	+0·5982	+0·7543
4·289	308·80	−0·1246	257·34	−0·5854	−0·7100
7·186	157·39	+0·0613	71·16	+0·5679	+0·6292
10·166	11·95	+0·0331	249·96	−0·5637	−0·5306
13·331	229·83	−0·1383	79·86	+0·5906	+0·4523
16·669	130·17	+0·1383	280·14	−0·5906	−0·4523
19·834	348·05	−0·0331	110·04	+0·5637	+0·5306
22·814	202·61	−0·0613	288·84	−0·5679	−0·6292
25·711	51·20	+0·1246	102·66	+0·5854	+0·7100
28·574	257·63	−0·1561	274·44	−0·5982	−0·7543

Indigo-Gelb; $\lambda_i : \lambda_{ge} = 13 : 17$. Es ist $\lambda_{ge} = 566$. $b = 0{\cdot}95$; folglich die transcendente Gleichung zur Ermittelung der Abscissen der Maxima

$$0{\cdot}22 \cos 27{\cdot}692\, x + \cos 21{\cdot}176\, x = 0$$

woraus die Zahlen der folgenden Tafel bestimmt wurden:

Abscisse der Maxima	Indigo		Gelb		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
4·008	110°99	+0·1495	84°87	+0·9462	+1·0957
12·196	337·72	−0·0606	258·07	−0·9115	−0·9721
20·759	214·75	−0·0912	79·59	+0·9344	+0·8432
29·950	119·37	+0·1394	274·22	−0·9474	−0·8080
38·850	355·83	−0·0115	102·69	+0·9267	+0·9152
47·160	226·12	−0·1153	278·66	−0·9391	−1·0544
55·245	89·85	+0·1599	89·86	+0·9499	+1·0098
63·335	313·88	−0·1153	291·18	−0·9387	−1·0540
71·660	184·40	−0·0130	77·48	+0·9272	+0·9142

Abscisse der Maxima	Indigo		Gelb		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
80·555	70°73	+0·1510	265°84	−0·9475	−0·7965
89·774	326·02	−0·0894	101·04	+0·9295	+0·8401
98·303	202·21	−0·0605	281·66	−0·9304	−0·9909
106·433	67·33	+0·1476	93·82	+0·9479	+1·0957
114·567	292·67	−0·1476	266·18	−0·9479	−1·0957
122·697	157·79	+0·0605	78·34	+0·9304	+0·9909
131·226	33·98	+0·0894	258·96	−0·9295	−0·8401
140·445	289·27	−0·1510	94·16	+0·9475	+0·7965
149·340	175·60	+0 0130	282·52	−0·9272	−0·9142
157·665	46·12	+0·1153	98·82	+0·9387	+1·0540
165·755	270·15	−0·1599	270·14	−0·9499	−1·0098
173·840	33·88	+0·1153	81·34	+0·9391	+1·0544
182·150	4·17	+0·0115	257·31	−0·9267	−0·9152
190·050	240·63	−0·1394	85·78	+0·9474	+0·8080
200·241	145·25	+0·0912	280·41	−0·9344	−0·8432
208·804	22·28	+0·0606	101·93	+0·9115	+0·9721
216·992	249·01	−0·1495	275·13	−0·9462	−1·0957

Indigo-Orange; $\lambda_i : \lambda_o = 13 : 18$. Es ist $\lambda_o = 599$, $b = 0·73$; folglich die Gleichung der Maxima

$$0·3 \cos 27·692\, x + \cos 20\, x = 0\,,$$

woraus die Daten der folgenden Tafel gezogen sind:

Abscisse der Maxima	Indigo		Orange		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
4·139	114°61	+0·1454	82°78	+0·7243	+0·8697
12·638	349·96	−0·0278	252·76	−0·6971	−0·7249
22·324	258·19	−0·1566	86·48	+0·7286	+0·5720
32·374	176·50	+0·0098	287·48	−0·6962	−0·6864
40·998	55·31	+0·1315	99·96	+0·7189	+0·8504
49·283	284·75	−0·1547	265·66	−0·7279	−0·8826
57·693	147·62	+0·0855	73·86	+0·7011	+0·7866
67·007	55·55	+0·1318	260·14	−0·7193	−0·5875
77·265	339·62	−0·0555	105·30	+0·7040	+0.6485
86·116	224·72	−0·1126	282·32	−0·7131	−0·8257
94·478	96·29	+0·1590	89·56	+0·7299	+0·8889
102·775	326·04	−0·0894	255·50	−0·7067	−0·7961
111·781	215·43	−0·0926	75·62	+0·7070	+0·6144
122·219	144·57	+0·0926	284·38	−0·7070	−0·6144
131·225	33·96	+0·0894	104·50	+0·7067	+0·7961
139·522	263·71	−0·1590	270·44	−0·7299	−0·8889
147·884	135·28	+0·1126	77·88	+0·7131	+0·8257
156·735	20·38	+0·0555	254·70	−0 7040	−0·6485
166·993	304·45	−0·1318	99·86	+0·7193	+0·5875
176·307	212·38	−0·0855	286·14	−0·7011	−0·7866
184·717	75·25	+0·1547	94·34	+0·7279	+0·8826
193·002	304·69	−0·1315	260·04	−0·7189	−0·8504
201·626	183·50	−0·0098	72·52	+0·6962	+0·6864
211·676	101·81	+0·1566	273·51	−0·7286	−0·5720
221·362	10·04	+0·0278	107·24	+0·6971	+0·7249
229·861	245·39	−0·1454	277·22	−0·7243	−0·8697

Indigo-Roth; $\lambda_i : \lambda_r = 2 : 3$. Es ist $\lambda_r = 649$, $b = 0{\cdot}37$; folglich die Gleichung zur Ermittelung der Abscissen der Maxima der resultirenden Curve

$$0{\cdot}64 \cos 180\, x + \cos 120\, x = 0$$

woraus folgende Tafel berechnet wurde:

Abscisse der Maxima	Indigo		Roth		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
0·628	113°04	+0·1473	75°36	+0·3579	+0·5052
1·928	347·04	−0·0359	231·36	−0·2888	−0·3247
4·072	12·96	+0·0359	128·64	+0·2888	+0·3247
5·372	246·96	−0·1473	284·64	−0·3579	−0·5052

III. Blau. $\lambda = 460$; $a = 0{\cdot}26$.

Blau-Grün; $\lambda_b : \lambda_{gr} = 8 : 9$. Es ist $\lambda_{gr} = 502$, $b = 0{\cdot}52$; folglich die Gleichung der Maxima

$$0{\cdot}56 \cos 45\, x + \cos 40\, x = 0$$

wonach folgende Werthe gefunden wurden:

Abscisse der Maxima	Grün		Blau		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
2·153	85°12	+0·5181	95°88	+0·2585	+0·7766
6·463	257·52	−0·5077	289·84	−0·2445	−0·7522
10·780	71·20	+0·4922	125·10	+0·2127	+0·7049
15·135	245·40	−0·4728	321·08	−0·1633	−0·6361
19·479	59·16	+0·4466	156·56	+0·1075	+0·5541
23·901	236·04	−0·4312	355·55	−0·0201	−0·4513
28·460	58·40	+0·4429	200·70	−0·0919	+0·3510
33·357	254·28	−0·5005	61·07	+0·2275	−0·2730
38·643	105·72	+0·5005	298·93	−0·2275	+0·2730
43·540	301·60	−0·4429	159·30	+0·0919	−0·3510
48·099	123·96	+0·4312	4·45	+0·0201	+0·4513
52·521	300·84	−0·4466	204·44	−0·1075	−0·5541
56·865	114·60	+0·4728	38·92	+0·1633	+0·6361
61·220	288·80	−0·4922	234·90	−0·2127	−0·7049
65·537	102·48	+0·5077	70·16	+0·2445	+0·7522
69·847	274·88	−0·5181	264·12	−0·2585	−0·7766

Blau-Gelb; $\lambda_b : \lambda_{ge} = 4 : 5$. Es ist $\lambda_{ge} = 575$, $b = 0{\cdot}95$; folglich die Gleichung zur Bestimmung der grössten Abweichungen aus der Ruhelage

$$0{\cdot}34 \cos 90\, x + \cos 72\, x = 0$$

aus der wir folgende Tafel berechnen:

Abscisse der Maxima	Blau		Gelb		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
1·177	105·93	+0·2500	84·84	+0·9461	+1·1961
3·544	318·96	—0·1707	255 17	—0·9182	—1·0889
5·974	177·66	+0·0105	70·33	+0·8946	+0·9051
8 584	52·56	+0·2064	258·05	—0·9292	—1·1356
11 416	307·44	—0·2064	101·95	+0·9292	+1·1356
14·026	182·34	—0·0105	289·67	—0·8946	—0·9051
16·456	41·04	+0·1707	104·83	+0·9182	+1·0889
18·823	254·07	—0·2500	275·16	—0·9461	—1·1961

Blau-Orange; $\lambda_b : \lambda_o = 16 : 21$. Es ist $\lambda_o = 604$, $b = 0{\cdot}67$; folglich die transcendente Gleichung der Maxima

$$0{\cdot}51 \cos 22{\cdot}5\, x + \cos 17{\cdot}143\, x = 0$$

nach welcher die Daten der folgenden Tafel bestimmt wurden:

Abscisse der Maxima	Blau		Orange		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
4·752	106·92	+0·2487	81·35	+0·6624	+0·9111
14·347	322·80	—0·1570	245·94	—0·6118	—0·7688
24·435	189·79	—0·0440	58·88	+0·5734	+0·5294
37·965	134·21	+0·1865	290·83	—0·6272	—0·4407
48·910	20·48	+0·0910	118·46	+0·5889	+0·6799
58·627	239·10	—0·2230	235 03	—0·5438	—0·7718
68·154	93·46	+0·2595	87·55	+0·6693	+0·9288
77·686	307·93	—0·2061	251·76	—0·6362	—0·8423
87·636	171·81	+0·0369	62·34	+0·5935	+0·6304
99·054	68·72	+0·2423	258 08	—0·6555	—0·4132
112·041	0·90	+0·0040	120·71	+0·5760	+0·5800
121·991	224·80	—0·1833	291·28	—0·6243	—0·8076
131·547	79 80	+0·2559	95·10	+0·6673	+0·9232
140·960	291·60	—0·2416	256·48	—0·6514	—0·8930
150·703	150·82	+0·1267	63·48	+0·5995	+0·7262
161·151	25·90	+0·1136	242·60	—0 5951	—0·4815
174·849	334·10	—0·1136	117·40	+0·5951	+0·4815
185·297	209·18	—0·1267	296·52	—0 5995	—0·7262
195·040	68·40	+0·2416	103·52	+0·6514	+0·8930
204·453	280·20	—0·2559	264·90	—0·6673	—0·9232
214·009	135·20	+0·1833	68·72	+0 6243	+0·8076
223·959	359·10	—0·0040	239·29	—0·5760	—0·5800
236 946	291·28	—0·2423	101 92	+0·6555	+0·4132
248·364	188·19	—0·0369	297·66	—0·5935	—0·6304
258·314	52·07	+0·2061	108·24	+0·6362	+0·8423
267·846	266·54	—0·2595	272·45	—0·6693	—0·9288
277·373	120·90	+0·2230	124·97	+0·5488	+0·7718
287·090	339·52	—0·0910	241·54	—0·5889	—0·6799
298·035	225·79	—0·1865	69 17	0·6272	+0·4407
311·565	170·21	+0·0440	301·12	—0·5734	—0·5294
321·653	37·20	+0·1570	114·06	+0·6118	+0·7688
331·248	253 08	—0·2487	278·65	—0·6624	—0·9111

Blau-Roth; $\lambda_b : \lambda_r = 16 : 23$. Es ist $\lambda_r = 661$, $b = 0{\cdot}30$; folglich die Gleichung zur Bestimmung der grössten Ausschläge des

resultirenden Strahles

$$1·24 \cos 22·5\, x + \cos 15·652\, x = 0$$

woraus folgende Tafel berechnet wurde:

Abscisse der Maxima	Blau		Roth		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
4·624	104·04	+0·2522	72·37	+0·2859	+0·5381
13·811	310·75	—0·1969	216·17	—0·1771	—0·3740
22·256	140·76	+0·1644	348·34	—0·0607	+0·1037
33·667	37·50	+0·1583	166·96	+0·0675	+0 2258
42·668	240·03	—0·2252	307·83	—0·2369	—0·4621
51·911	88·00	+0·2599	92·51	+0·2997	+0·5596
61·152	295·92	—0·2338	237·14	—0·2520	—0·4858
70·225	140·06	+0·1669	19·05	+0·0978	+0·2647
77·467	303·00	—0·2180	132·51	+0·2212	+0·0032
90·043	225·97	—0·1869	329·35	—0·1530	—0 3399
99·195	71·89	+0·2471	112·60	+0·2769	+0·5240
108·445	280·01	—0·2560	257·38	—0·2927	—0·5487
117·632	126·72	+0·0498	41 16	+0·1975	+0·2473
127·884	357·39	—0·0120	201·63	—0·1108	—0·1228
131·694	83·12	+0·2580	261·07	—0·2963	—0·0383
137·642	216·94	—0·1563	354·37	—0·2960	—0·4493
146·511	56·50	+0·2168	133·19	+0·2188	+0·4356
155·665	262·46	—0·2548	276·47	—0·2981	—0·5529
164·979	112·02	+0·2410	62·25	+0·2655	+0·5065
174·100	317·25	—0·1764	225·01	—0·2121	—0·3885
193·900	42·75	+0·1764	134·99	+0·2121	+0·3885
203·021	247·97	—0·2410	297·75	—0·2655	—0·5065
212·335	97·54	+0·2548	83·53	+0·2981	+0·5529
221·489	303·50	—0·2168	226·81	—0·2188	—0·4356
230·358	143·06	+0·1563	5·63	+0·2960	+0·4493
236·306	276·88	—0·2580	98·93	+0·2963	+0 0383
240·116	2·61	+0·0120	158·37	+0·1108	+0·1228
250·368	233·28	—0·0498	318 84	—0·1975	—0·2473
259·555	79·99	+0·2560	102·62	+0·2927	+0·5487
268·805	288·11	—0·2471	247·40	—0·2769	—0·5240
277·957	134·03	+0·1869	30·65	+0·1530	+0 3399
280·533	57·00	+0·2180	227·49	—0·2212	—0·0032
297·775	219·94	—0·1669	340 95	—0·0978	—0·2647
306·848	64·08	+0·2338	122·86	+0·2520	+0·4858
316·089	272·00	—0·2599	267·49	—0·2997	—0·5596
325·332	119·97	+0·2252	52·17	+0·2369	+0·4621
334·333	322·50	—0·1583	193·04	—0·0675	—0·2258
345·744	219·24	—0·1644	11·66	+0·0607	—0·1037
354·189	49·25	+0·1969	143·83	+0·1771	+0·3740
363·376	255·96	—0·2522	287·63	—0·2859	—0·5381

IV. Grün. $\lambda = 512$; $a = 0·55$

Grün-Gelb; $\lambda_{gr} : \lambda_{ge} = 9 : 10$. Es ist $\lambda_{ge} = 569$, $b = 0·99$; folglich die aus diesen Constanten abgeleitete Maximumgleichung

$$0·61 \cos 40\, x + \cos 36\, x = 0$$

nach welcher diese Tafel berechnet wurde:

Abscisse der Maxima	Grün		Gelb		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
2·399	96·00	+0·5470	86·40	+0·9880	+1·5350
7·199	288·00	−0·5232	259·20	−0·9725	−1·4957
12·004	120·16	+0·4755	72·14	+0·9424	+1·4179
16·818	312·72	−0·4030	245·45	−0·9006	−1·3036
21·654	146·16	+0·3062	59·54	+0·8534	+1·1596
26·522	340·88	−0·1804	314·36	−0·7080	−0·8884
31·454	178·16	+0·0176	52·34	+0·7837	+0·8013
36·637	25·48	+0·2365	238·93	−0·8480	−0·6115
42·184	247·36	−0·5076	78·62	+0·9704	+0·4628
47·816	112·64	+0·5076	281·38	−0·9704	−0·4628
53·363	334·52	−0·2365	121·07	+0·8480	+0·6115
58·546	181·84	−0·0176	307·66	−0·7837	−0·8013
63·478	19·12	+0·1804	45·64	+0·7080	+0·8884
68·346	213·84	−0·3062	300·46	−0·8534	−1·1596
73 182	47·28	+0·4030	114·55	+0·9006	+1·3036
77·996	239·24	0·4755	287·86	−0·9424	−1·4179
82·801	72·00	+0·5232	100·80	+0·9725	+1·4957
87·601	264·00	−0·5470	273·60	−0·9880	−1·5350

Grün-Orange; $\lambda_{gr} : \lambda_o = 6 : 7$. Es ist $\lambda_o = 597$, $b = 0·73$; folglich die Gleichung zur Ableitung der Amplituden

$$0·87 \cos 60\, x + \cos 51·429\, x = 0$$

woraus folgende Werthe gefunden wurden:

Abscisse der Maxima	Grün		Orange		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
1 624	97·44	+0·5454	83·53	+0·7253	+1·2707
4·873	292·38	−0·5085	250·03	−0·6867	−1·1952
8·127	127·62	+5·4356	57.96	+0·6188	+1·0544
11 389	323·34	−0·3285	225·72	−0·5227	−0·8512
14·677	160·62	+0·1806	34·40	+0·4125	+0·5931
18·106	6·36	+0·0608	211·17	−0·3778	−0·3170
23·894	353·64	−0·0608	148·83	+0·3778	+0·3170
27·323	199 38	−0·1806	325 60	−0·4125	−0·5931
30·611	36·66	+0·3285	134·27	+0·5227	+0·8512
33·873	232·38	−0·4356	302·04	−0·6188	−1·0544
37·127	67·62	+0·5085	109·97	+0·6867	+1·1952
40·376	262·56	−0·5454	276·47	−0·7253	−1·2707

Grün-Roth; $\lambda_{gr} : \lambda_r = 18 : 23$. Es ist $\lambda_r = 654$, $b = 0·33$; folglich die Gleichung der Maxima

$$2·12 \cos 20\, x + \cos 15·652\, x = 0$$

woraus folgt:

Abscisse der Maxima	Grün		Roth		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
4·835	96°70	+0·5463	75·67	+0·3197	+0·8660
14·456	289·12	−0·5192	226·26	−0·2384	−0 7576
23·864	117·28	+0·4886	13·52	+0·0772	+0·5658

Abscisse der Maxima	Grün		Roth		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
32·528	290·56	—0·5149	149·11	+0·1693	—0·3456
40·649	92·98	+0·5492	276·24	—0·3280	+0·2212
48·409	248·18	—0·5106	37·70	+0·2017	—0·3089
57·119	62·38	+0·4872	174.01	+0·0344	+0·5216
66·462	248·24	—0·5108	320·26	—0·2110	—0·7218
75·920	78·40	+0·5387	108·30	+0·3133	+0·8520
85·702	274·04	—0·5497	261·41	—0·3263	—0·8760
95·341	106·82	+0·5265	52·26	+0·2608	+0·7873
104·593	291·86	—0·5105	197·09	—0·0966	—0·6071
113·827	116·54	+0·4920	339·61	—0·1149	+0·3771
121·929	278·58	—0·5438	108·43	+0·3131	—0·2307
129·585	71·70	+0·5222	228·27	—9·2462	+0·2760
138·060	241·20	—0·4819	1·56	+0·0033	—0·4786
147·346	66·92	+0·5059	146·24	+0·1834	+0·6893
156·905	258·10	—0·5382	295·88	—0·2972	—0·8354
166·353	87·06	+0·5495	83·74	+0·3280	+0·8775
176·219	284·38	—0·5327	238·07	—0·2804	—0·8131
185·865	117·30	+0·4887	29·15	+0·1607	+0·6494
194·885	297·70	—0·4870	171·04	+0·0513	—0·4357
203·188	103·76	+0·5342	300·29	—0·2849	+0·2493
210·812	256·24	—0·5342	59·71	+0·2849	—0·2493
219·115	62·30	+0·4870	188·96	—0·0513	+0·4357
228·135	242·70	—0·4887	330·85	—0·1607	—0·6494
237·781	75·62	+0·5327	121·93	+0·2804	+0·8131
247·647	272·94	—0·5495	276·26	—0·3280	—0·8775
257·095	101·90	+0·5382	64·12	+0·2972	+0·8354
266·654	293·08	—0·5059	213·76	—0·1834	—0·6893
275·940	118·80	+0·4819	358·44	—0·0033	+0·4786
284·415	288·30	—0·5222	131·73	+0·2462	—0·2760
292·081	81·42	+0·5438	251·57	—0·3131	+0·2307
300·173	243·46	—0·4920	20·39	+0·1149	—0·3771
309·407	68·14	+0·5105	162·91	+0·0966	+0·6071
318·659	253·18	—0·5265	307·74	—0·2608	—0·7873
328·298	65·96	+0·5497	98·59	+0·3263	+0·8760
338·080	281·60	—0·5387	251·70	—0·3133	—0·8520
347·538	111·76	+0·5108	39·74	+0·2110	+0·7218
356·881	297·62	—0·4872	185·99	—0·0344	—0·5216
365·591	111·92	+0·5106	322·30	—0·2017	+0·3089
374·351	267·02	—0·5492	83·76	+0·3280	—0·2212
381·472	69·44	+0·5149	210·89	—0·1693	+0·3456
390·136	242·72	—0·4886	346·48	—0·0772	—0·5658
399·544	70·88	+0·5192	133·74	+0·2384	+0·7576
409·165	263·30	—0·5463	284·33	—0·3197	—0·8660

V. Gelb. $\lambda = 563$; $a = 0{\cdot}94$.

Gelb-Orange; $\lambda_{ge} : \lambda_o = 14 : 15$. Es ist $\lambda_o = 603$, $b = 0{\cdot}68$; folglich die aus diesen Daten bestimmte Gleichung:

$$1{\cdot}48 \cos 25{\cdot}714\, x + \cos 24\, x = 0$$

woraus folgende Tafel berechnet wurde:

Abscisse der Maxima	Gelb		Orange		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
3·596	92°46	+0·9391	86·30	+0·9979	+1·6176
10·789	277·42	—0·9330	258·94	—0·9814	—1·6005
17·980	102·34	+0 9182	71·52	+0·9484	+1·5630
25·169	287·19	—0·8980	244·06	—0·8992	—1·5094
32·355	111·98	+0·8726	56·52	+0·5671	+1·4397
39·529	296·44	—0·8417	228·70	—0·5108	—1·3525
46·699	120·81	+0 8072	40·78	+0·4441	+1·2513
53·855	304·82	—0·8037	212·52	—0·3655	—1·1692
60·985	128·16	+0·7390	23·64	+0·2725	+1·0115
68·099	311·09	—0.7084	194 38	—0·1689	—0·8773
75·159	132·65	+0·6913	3·82	+0·0453	+0·7366
82·117	311·56	—0·7031	170·81	+0·1085	—0·5946
88·725	121·47	+0·8017	339·40	—0·2392	+0·5625
95·600	298·26	—0·8278	134·40	+0·4857	—0·3421
101·817	98·11	+0·9316	283·61	—0·6309	+0·3007
108·183	261 89	—0·9316	76·39	+0·6309	—0·3007
114·400	61·74	+0·8278	225·60	—0·4857	+0·3421
121·275	238·53	—0·8017	20·60	+0·2392	—0·5625
127·883	48·44	+0·7031	189·19	—0·1085	+0·5946
134·841	227·35	—0·6913	356·18	—0·0453	—0·7366
141·901	48 91	+0·7084	165·62	+0·1689	+0·8773
149·015	231·84	—0·7390	336·36	—0 2725	—1·0115
156 145	55·18	+0·8037	147·48	+0·3655	+1·1692
163·301	239·19	—0·8072	319·22	—0·4441	—1·2513
170·471	63·56	+0·8417	131·30	+0·5108	+1·3525
177·645	248·02	—0·8726	303·48	—0·5671	—1·4397
184·831	72·81	+0·8980	115·94	+0·6114	+1·5094
192·020	257·66	—0·9182	288·48	—0·6448	—1·5630
199·211	82·58	+0·9330	101·06	+0·6675	+1·6005
206·404	267·54	—0·9391	273·70	—0·6785	—1·6176

Gelb-Roth; $\lambda_{ge} : \lambda_r = 7 : 8$. Es ist $\lambda_r = 643$, $b = 0·40$; folglich unsere Gleichung der Maxima

$$2·69 \cos 51·429\, x + \cos 45\, x = 0$$

woraus folgt:

Abscisse der Maxima	Gelb		Roth		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
1·812	93·18	+0·9385	86°54	+0·3956	+1·3341
.5429	280·20	—0·9252	244·31	—0·3605	—1·2857
9·037	104·76	+0 9088	46 67	+0·2909	+1·1997
12·621	289·09	—0·8883	207·95	—0·1874	—1 0757
16·174	111·81	+0·8727	7·73	+0 0548	+0·9275
19·644	290·27	—0·8827	163·98	+0·1104	—0·7723
23·059	105·90	+0·9038	317·66	—0 2694	+0·6344
26·368	276·08	—0 9348	106·56	+0·3834	—0·5514
29·632	83·92	+0·9348	253·44	—0·3834	+0·5514
32·941	254·10	—0·9038	42·34	+0·2694	—0·6344
36·356	69·73	+0·8827	196·02	—0·1104	+0·7723
3.9826	248·19	—0·8727	352·27	—0·0548	—0·9275

Abscisse der Maxima	Gelb		Roth		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
43·379	70·91	+0·8883	152·05	+0·1874	+1·0757
46·963	255·24	—0 9088	313·33	—0·2909	—1·1997
50·571	79·80	+0·9252	115·69	+0·3605	+1·2857
54·188	266·82	—0·9385	278·46	—0·3956	—1·3341

VI. Orange. $\lambda = 605$; $a = 0·67$.

Orange-Roth; $\lambda_o : \lambda_r = 12 : 13$. Es ist $\lambda_r = 655$, $b = 0·33$; folglich die durch diese Constanten bestimmte Gleichung der grössten Ausschläge im resultirenden Strahle

$$2·2 \cos 30\, x + \cos 27·692\, x = 0$$

wonach die Angaben für folgende Tafel gerechnet sind:

Abscisse der Maxima	Orange		Roth		Amplitude
	Phase	Ausschlag	Phase	Ausschlag	
3·074	92°22	+0.6694	85·11	+0·3288	+0·9982
9·220	276·60	—0·6654	255·32	—0·3192	—0·9846
15·363	100·89	+0·6579	65·43	+0·3001	+0·9580
21·498	284·94	—0·6473	235·32	—0·2736	—0·9209
27·624	108·72	+0·6345	44·95	+0·2331	+0·8676
33·736	291·78	—0·6228	213·94	—0·1841	—0·8069
39·835	115·05	+0·6069	23·11	+0·1296	+0·7365
45·885	296·55	—0.5994	190·64	—0·0608	—0·6602
51·900	117·00	+0·5970	357·21	+0·0161	+0·5809
57·858	295·74	- 0·6035	161·19	+0·1065	—0·4970
63·726	111·78	+0·6222	324·70	—0·1907	+0·4315
69·497	284·91	—0·6479	124·51	+0·2719	—0·3760
75·179	95·37	+0·6670	281·86	—0·3230	+0·3440
80·821	264·63	—0·6670	78·14	+0·3230	—0·3440
86·503	75·09	+0·6479	235·49	—0·2719	+0·3760
92·274	248·22	—0·6222	35·30	+0·1907	—0·4315
98·142	64·26	+0·6035	198·81	—0·1065	+0·4970
104·100	243·00	—0·5970	2·79	+0·0161	—0·5809
110·115	63·45	+0·5994	169·36	+0·0608	+0·6602
116·165	244·95	—0·6069	336·89	—0·1296	—0·7365
122·264	68·22	+0·6228	146·06	+0·1841	+0·8069
128·376	251·28	—0·6345	315·05	—0·2331	—0·8676
134·502	75·06	+0·6473	124·68	+0·2736	+0·9209
140·637	259·11	—0·6579	294·57	—0·3001	—0·9580
146·780	83·40	+0·6654	104·68	+0·3192	+0·9846
152·926	267·78	—0·6694	274·89	—0·3288	—0·9982

C. Intensität im resultirenden Strahle.

Es wurde im dritten Abschnitte [1]) dieses Aufsatzes der strenge Beweis geführt, dass die Intensität des aus zwei oder mehreren verschieden gefärbten Strahlen beliebiger Amplitude resultirenden

[1]) S. Sitzungsberichte der k. Akad. der Wissensch. Maiheft 1854.

gefärbten oder weissen Strahles gleich sein müsse der Summe der Intensitäten der componirenden Strahlen. Dies kann also hier keiner weiteren Ausführung unterliegen. Dagegen ist es für die Beurtheilung der Empfindung, welche ein gemischter Strahl erregt, von Wichtigkeit, die Intensitäten der einzelnen rhythmisch wiederkehrenden Wellenschläge zu kennen, und die folgenden Tafeln enthalten die entsprechenden Verhältnisszahlen. Sie sind berechnet nach der allgemeinen Formel der Intensitäten, nach welcher die Intensitäten verschieden gefärbter Strahlen sich direct verhalten, wie die Quadrate der Amplituden und verkehrt wie die Wellenlängen. Strenge genommen ist diese Formel nur giltig für den nach der Sinuslinie schwingenden einfachen homogenen Strahl, da in demselben eine reine Pendelbewegung der einzelnen Ätherpunkte stattfindet; hier dagegen weder von einer Amplitude noch auch von einer Wellenlänge im Sinne jener einfachsten Bewegung die Rede sein kann, vielmehr die Intensitäten, die rhythmisch entwickelt werden, aus dem Integrale

$$\int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 dt$$

bestimmt werden sollten, wo die Grenzen t_1 und t_2 den Zeitmomenten entsprechen, in welchen ein schwingender Punkt durch die Ruhelage passirt. Da aber die auf diesem strengen Wege erhaltenen Zahlen nur sehr wenig von den nach der einfachen Formel gerechneten Verhältnissgrössen abweichen, so können letztere als brauchbare, für die hier beabsichtigte Näherung vollkommen richtige Näherungswerthe betrachtet werden, wodurch die Rechnung vielfach erleichtert und vereinfacht wird.

I. Violett. $\lambda = 400$; $a = 0·07$.

Violett-Indigo; $\lambda_v : \lambda_i = 12:13$; mithin $\lambda_i = 436$, $b = 0·17$. Die Intensität des Violett ist im Verlaufe einer grossen Periode $= 0·088$; die des Indigo $= 0·453$. Diese vertheilen sich im resultirenden Strahle wie folgt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
423·1	Violettlich Indigo	0·2395	0·0764	1·000
423·4	„	0·2363	0·0747	0·977
423 6	„	0·2300	0·0713	0·920
424·4	„	0 2207	0·0656	0·858
425·4	Indigo	0·2056	0·0569	0·745

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
427·1	Indigo	0·1939	0·0502	0·657
429·2	„	0·1775	0·0416	0·544
432·3	Mitte Indigo	0·1596	0·0336	0·439
437·0	Tiefschattig Blau	0·1414	0·0257	0·337
443·8	Schattig Blau	0·1241	0·0200	0·262
452·1	Blau	0·1096	0·0154	0·202
458·4	Hellblau	0·1912	0·0126	0·164

Summe der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Violett = 0·088.

Summe der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Indigo = 0·453

Summen beider = 0·541.

Summe der im Verlaufe einer grossen Periode im resultirenden Strahle entwickelten Intensität = 0·544.

Violett-Blau; $\lambda_v : \lambda_b = 7 : 8$; mithin $\lambda_b = 458$. $b = 0·26$. Es ist daher

$$J_v : J_b = 68 : 838.$$

Die Intensitäten im resultirenden Strahle vertheilen sich daher folgendermassen:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
444·23	Dunkelblau	0·3286	0·1391	1·000
444·69	„	0·3184	0·1300	0·935
447·66	„	0·2862	0·1037	0·745
452·12	Blau	0·2696	0·0918	0·659
460·23	„	0·2410	0·0718	0·516
470·63	Hellblau	0·2116	0·0547	0·393
480·45	Grünlich Blau	0·1926	0·0439	0·315

Summe der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Violett = 0·054.

Summe der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Blau = 0·641.

Summe beider = 0·641.

Summe der im Verlaufe einer grossen Periode im resultirenden Strahle entwickelten Intensität = 0·635.

Violett-Grün; $\lambda_v : \lambda_{gr} = 7 : 9$; somit $\lambda_{gr} = 515$, $b = 0·58$. Es ist daher

$$J_v : J_{gr} = 68 : 3722.$$

Im resultirenden Strahle vertheilen sich die Intensitäten auf folgende Weise:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
501·16	Grün	0·6441	0·4714	1·000
507·89	„	0·6018	0·4064	0·862
524·00	„	0·5412	0·3181	0·674
535·20	Gelblich Grün	0·5100	0·2770	0·587
522·86	Grün	0·5407	0·3186	0·674
508·57	„	0·6018	0·4064	0·862
500 34	„	0·6441	0·4714	1·000

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Violett = 0·061.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Grün = 2·605.

Summe beider = 2·666.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle = 2·669.

Violett-Gelb; $\lambda_v : \lambda_{ge} = 5 : 7$; mithin $\lambda_{ge} = 560$; $b = 0·94$. Es verhält sich daher

$$J_v : J_{ge} = 68 : 8801.$$

Im resultirenden Strahle sind die Intensitäten folgendermassen vertheilt

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570)=1	Eigenes Verhältniss
548·48	Gelblich Grün	0·9877	1·0152	1·000
563·04	Gelb	0·9121	0·8419	0·829
567·68	„	0·8600	0·7421	0·730
572·16	„	0·9121	0·8288	0·816
548·64	Gelblich Grün	0·9877	1·0129	0·998

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Violett = 0·048.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Gelb — 4·401.

Summe beider = 4·449.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle = 4·441. Differenz = 0·008: Fehler = 0·002.

Violett-Orange; $\lambda_v : \lambda_o = 2 : 3$; mithin $\lambda_o = 600$; $b = 0·71$. Es verhält sich daher

$J_v : J_o = 68 : 4788.$

Im resultirenden Strahle werden diese Intensitäten auf folgende Weise sich vertheilen:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
582·8	Orangelich Gelb	0·7625	0·5577	1·000
617·2	Röthlich Orange	0·6650	0·4087	0·734

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Violett = 0·020.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Orange = 0·957.

Summe beider = 0·977.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle = 0·966.

Violett-Roth; $\lambda_v : \lambda_r = 8 : 13$; mithin $\lambda_r = 650$, $b = 0·37$. Es verhält sich daher in dieser Mischung

$J_v : J_r = 68 : 1197.$

Im resultirenden Strahle sind die Intensitäten auf folgende Weise vertheilt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
610·6	Orange	0·4180	6·1630	0·885
724·8	Purpur	0·3026	0·0724	0·393
627·3	Orangelich Roth	0·3984	0·1436	0·779
701·7	Röthlich Purpur	0·4317	0·1516	0·823
708·7	„ „	0·3204	0·0821	0·446
651·8	Roth	0·3736	0·1221	0·663
595·8	Gelblich Orange	0·4390	0·1841	1·000
681·6	Purpurlich Roth	0·3464	0·0998	0 542

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Violett = 0·088.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Roth = 0·957.

Summen beider = 1·046.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle (nach unserer Näherungsmethode) = 1·018. Fehler = 0·028.

II. Indigo. $\lambda = 433$; $a = 0·16$; $J = 0·0336$.

Indigo-Blau; $\lambda_i : \lambda_b = 15 : 16$; mithin $\lambda_b = 462$, $b = 0·27$.

Es verhält sich daher für diese Strahlen

$$J_i : J_b = 336 : 901.$$

Im resultirenden Strahle vertheilen sich diese Intensitäten in der folgenden Weise:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
450·0	Dunkelblau	0·4294	0·2331	1·000
450·1	"	0·4252	0·2286	0·987
450·2	"	0.4169	0·2200	0·944
450·5	"	0·4031	0·2052	0·880
450·8	"	0·3882	0·1904	0·816
451·3	"	0·3683	0·1710	0·733
451·8	"	0·3449	0·1545	0·663
452·7	"	0·3184	0·1271	0·546
454·0	"	0·2893	0·1049	0·450
456·0	Blau	0·2579	0·0832	0·357
459·6	"	0·2249	0·0775	0·332
464 0	Hellblau	0·1945	0·0462	0·198
474·3	"	0·1588	0·0302	0·129
493·3	"	0·1303	0·0194	0.083
519·3	Bläulich Grün Grün	0·1125	0·0121	0·052

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Indigo = 0·538.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Blau = 1·352.

Summe beider = 1·890.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des resultirenden Strahles (nach unserer Näherungsformel) = 1·903 Differenz = 0·013.

Indigo-Grün; $\lambda_i : \lambda_{gr} = 5 : 6$; mithin $\lambda_{gr} = 519$, $b = 0·60$. Es ist daher das Verhältniss der Intensität der beiden interferirenden Strahlen

$$J_i : J_{gr} = 336 : 3956$$

Diese Intensitäten sind in resultirenden Strahlen nach folgenden Verhältnissen vertheilt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
497·8	Bläulich Grün	0·7543	0·6504	1·000
501·5	Grün	0·7100	0·5723	0·881
511·0	"	0·6292	0·4412	0·678
530·3	Gelblich Grün	0·5306	0·3032	0·466
557·4	Gelb	0·4523	0·2086	0·320

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Indigo = 0·201.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Grün = 1·978.

Summe beider = 2·179.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des resultirenden Strahles (nach unserer Näherungsformel) = 2·176. Differenz = 0·003.

Indigo-Gelb; $\lambda_i : \lambda_{ge} = 13 : 17$; mithin $\lambda_{ge} = 566$, $b = 0·95$. Es ist daher das Verhältniss der Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen

$$J_i : J_{ge} = 336 : 9092$$

Diese Intensitäten sind im resultirenden Strahle nach folgenden Verhältnissen vertheilt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
550·0	Gelb	1·0957	1·2449	0·989
551·5	„	0·9721	0·9753	0·776
587·3	Gelb-Orange	0·8432	0·6903	0·548
599·6	Orange	0·8080	0·6202	0·493
570·9	Gelb	0·9152	0·8356	0·663
548 9	Schwachgrünlich Gelb	1·0544	1·1531	0·916
442·5	Grünlich Gelb	1·0098	1·0705	0·850
549·9	Schwachgrünlich Gelb	1·0540	1·1508	0·914
569·6	Gelb	0·9142	0·8204	0·652
599·6	Orange	0·7965	0·6031	0·480
587·4	Gelb-Orange	0·8401	0·6851	0·544
557·7	Gelb	0 9909	1·0032	0·797
543·8	Grünlich Gelb	1·0957	1·2586	1·000

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Indigo = 0·571.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Gelb = 11·819.

Summe beider = 12·390.

Gesammtbetrag der im resultirenden Strahle im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität (nach unserer Näherungsrechnung) = 12·111. Differenz = 0·280; Fehler = 0·022.

Indigo-Orange; $\lambda_i : \lambda_o = 13 : 18$; mithin $\lambda_o = 599$, $b = 0·73$. Es verhalten sich demnach die Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen wie

$$J_i : J_o = 336 : 5064.$$

Im resultirenden Strahle vertheilen sich diese Intensitäten auf folgende Weise:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
564·9	Gelb	0·8697	0·7632	0·950
598·8	Orange	0·7249	0·4999	0·622
660·7	Roth	0·5720	0·2822	0·351
611·9	Röthlich Orange	9·6864	0·4383	0·545
568·2	Gelb	0·8504	0·7250	0·903
562·8	„	0·8826	0·7895	0·983
592·5	Gelblich Orange	0·7866	0·5951	0·741
650·4	Roth	0·5875	0·3032	0·377
623·7	Roth-Orange	0·6485	0·3836	0·477
573·0	Gelb	0·8257	0·6789	0·845
561·8	„	0·8889	0·8031	1·000
580·0	Orangelich Gelb	0·7961	0·6224	0·775
641·0	Roth	0·6144	0·3352	0·417

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Indigo = 0·605.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Orange = 6·583.

Summe beider = 7·188.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des resultirenden Strahles = 7·219. Differenz = 0·031; Fehler = 0·004.

Indigo-Roth; $\lambda_i : \lambda_r = 2 : 3$; mithin $\lambda_r = 649$, $b = 0·37$. Es verhalten sich demnach die Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen wie

$$J_i : J_r = 336 : 1203.$$

Diese Intensitäten vertheilen sich im resultirenden Strahle auf folgende Weise:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
572·43	Gelb	0·5052	0·2542	1·000
726·57	(Purpur)	0·3247	0·0826	0·325

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Indigo = 1·008.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Roth = 2·406.

Summe beider = 3·414.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode ent-

wickelten Intensität des resultirenden Strahles = 3·368. Differenz = 0·046. Fehler = 0·013.

III. Blau. $\lambda = 460$; $a = 0{\cdot}26$; $J = 0{\cdot}0838$.

Blau-Grün; $\lambda_b : \lambda_{gr} = 8 : 9$; mithin $\lambda_{gr} = 502$, $b = 0{\cdot}52$. Es verhält sich die Intensität der beiden interferirenden Strahlen wie

$$J_b : J_{gr} = 838 : 3067.$$

Im resultirenden Strahle vertheilen sich diese Intensitäten auf folgende Weise:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
496·8	Schwachbläulich Grün	0 7766	0·6920	1·000
497·5	„ „	0·7522	0·6481	0·936
498·5	Grün	0·7049	0·5689	0·822
562·6	„	0·6361	0·4583	0·662
507·6	„	0·5541	0·3443	0·497
516·9	„	0·4513	0·2240	0·323
538·3	Grün-Gelb	0·3510	0·1305	0·188
581·9	Schwachorangelich Gelb	0·2730	0·0730	0·105

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Blau = 0·754.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Grün = 2·453.

Summe beider = 3·207.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode im resultirenden Strahle entwickelten Intensität = 3·140. Differenz = 0·067. Fehler = 0·021.

Blau-Gelb; $\lambda_b : \lambda_{ge} = 4 : 5$; mithin $\lambda_{ge} = 575$, $b = 0{\cdot}95$. Es verhält sich daher die Intensität der beiden interferirenden Strahlen wie

$$J_b : J_{ge} = 838 : 8949.$$

Im resultirenden Strahle sind die Intensitäten auf folgende Weise vertheilt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
547·17	Grünlich Gelb	1·1961	1·4906	1·000
555·45	Gelb	1·0889	1·2180	0·817
577·99	„	0·9051	0·8077	0·542
619·39	Röthlich Orange	1 1356	1·1885	0·796

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Blau = 0·419.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Gelb = 3·580.

Summe beider = 3·999.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des resultirenden Strahles (nach der Näherungsformel) = 4·704. Differenz = 0·705. Fehler 0·175.

Blau-Orange; $\lambda_b : \lambda_o = 16 : 21$; mithin $\lambda_o = 604$, $b = 0{\cdot}67$. Es verhält sich die Intensität in den beiden interferirenden Strahlen wie

$$J_b : J_o = 838 : 4235.$$

Im resultirenden Strahle sind die Intensitäten folgendermassen vertheilt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
532·96	Gelblich Grün	0·9111	0·8875	1·000
597·31	Orange	0·7688	0·5659	0·637
651·30	Roth	0·5294	0·2445	0·275
706·50	(Röthlich Purpur?)	0·4407	0·1568	0·177
592·10	Gelblich Orange	0·6799	0·3329	0·375
561·26	Gelb	0·7718	0·6053	0·682
555·45	„	0·9288	0·8874	1·000
563·33	„	0·8423	0·7176	0·809
606·97	Orange	0·6304	0·3728	0·420
720·07	(Purpur)	0·4132	0·1351	0·152
626·58	Orangelich Roth	0·5800	0·3055	0·344
568·39	Gelb	0·8076	0·6555	0·738
556·08	„	0·9232	0·8732	3·985
553·04	„	0·8930	0·8219	0·926
587·42	Gelb-Orange	0·7262	0·5119	0·576
674·88	Purpurlich Roth	0·4815	0·1955	0·220

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im blauen Strahle = 1·759.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im orangenen Strahle = 6·776.

Summe beider = 8·535.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des resultirenden Strahles = 8·270. Differenz = 0·265. Fehler = 0·031.

Blau-Roth; $\lambda_b : \lambda_r = 16 : 23$; mithin $\lambda_r = 661$, $b = 0{\cdot}30$. Es verhalten sich die Intensitäten der interferirenden Strahlen wie

$$J_b : J_r = 838 : 775.$$

Diese Intensitäten vertheilen sich im resultirenden Strahle auf folgende Weise:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
517·4	Grün	0·5381	0·3186	0·982
442·3	Tiefschattig Blau	0·3740	0·1801	0·555
1039·3	(?)	0·2258	0·0279	0·086
554·2	Gelb	0·4621	0·2195	0·677
550·8	Schwachgrünlich Gelb	0·5596	0·3243	1·000
553·0	Gelb	0·4858	0·2434	0·707
1033·0	(?)	0·2647	0·0388	0·119
567·1	Gelb	0·3399	0·1163	0·358
552·9	„	0·5240	0·2827	0.871
552·1	„	0·5487	0·3112	0·959
559·6	„	0·2473	0·0621	0·191
1039·9	(?)	0·4493	0 1106	0·341
556·5	Gelb	0·4356	0·1949	0·601
550·3	Schwachgrünlich Gelb	0·5529	0·3169	0·977
549·6	„ „	0·5065	0·2651	0·817
804·5	(?)	0·3885	0·1066	0·325

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im blauen Strahle = 1·240.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im rothen Strahle = 1·927.

Summe beider = 3·167.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle = 3·119. Differenz = 0·048. Fehler = 0·015.

IV. Grün. $\lambda = 512$; $a = 0{\cdot}55$; $J = 0{\cdot}3369$.

Grün-Gelb; $\lambda_{gr} : \lambda_{ge} = 9 : 10$; mithin $\lambda_{ge} = 569$, $b = 0{\cdot}99$; folglich das Verhältniss der Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen

$$J_{gr} : J_{ge} = 3369 : 9821.$$

Diese Intensitäten sind im resultirenden Strahle auf folgende Weise vertheilt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
547·4	Schwachgrünlich Gelb	1·5350	2·4550	1·000
548·1	„ „	1·4957	2·3250	0·947
548·6	„ „	1·4179	2·0873	0·850
550·7	„ „	1·3036	1·7590	0·716
554·0	Gelb	1·1596	1·3845	0·564
560·0	„	0·8884	0·8026	0·327
571·5	„	0·8013	0·6195	0·252
597·4	Orange	0·6115	0·3563	0·145
642·3	Roth	0·4628	0·1903	0·077

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im grünen Strahle = 8·838.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im gelben Strahle = 3·369.

Summe beider 12·207.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle = 11·970. Differenz = 0·237. Fehler = 0·019.

Grün-Orange; $\lambda_{gr} : \lambda_o = 6 : 7$; mithin $\lambda_o = 597$, $b = 0·73$. Das Verhältniss der Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen wird daher sein

$$J_{gr} : J_o = 3369 : 5084.$$

Diese Intensitäten vertheilen sich im resultirenden Strahle auf folgende Weise:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
557·57	Gelb	1·2707	1·7502	1·000
558·42	„	1·1952	1·4586	0·833
559·78	„	1·0544	1·1303	0·646
565·42	„	0·8512	0·7308	0·418
582·99	Orangelich Gelb	0·5931	0·3449	0·197
758·08	(Purpur)	0·3170	0·0752	0·043

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im grünen Strahle = 3·051.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im orangenen Strahle = 2·358.

Summe beider = 5·409.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle = 5·490. Differenz = 0·081. Fehler = 0·015.

Grün-Roth; $\lambda_{gr} : \lambda_r = 18 : 23$; mithin $\lambda_r = 654$, $b = 0·33$. Es ist daher das Verhältniss der Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen

$$J_{gr} : J_r = 3369 : 946.$$

Im resultirenden Strahle sind diese Intensitäten nahezu folgendermassen vertheilt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
556·9	Gelb	0·8660	0·7672	0·974
551·4	Schwachgrünlich Gelb	0·7576	0·5944	0·755
533·1	Gelblich Grün	0·5658	0·3426	0·435
474·7	Schwachgrünlich Blau	0·3456	0·1436	0·182
396·1	Violett	0·2212	0·0707	0·089
462·1	Blau	0·3089	0·1179	0·149
519·6	Grün	0·5216	0·2987	0·379
549·3	Grünlich Gelb	0·7218	0·5409	0·687
556·2	Gelb	0·8520	0·7444	0·945
557·4	„	0·8760	0·7849	0·997
553·2	Schwachgrünlich Gelb	0·7873	0·6384	0·811
537·3	Grün-Gelb	0·6071	0·3910	0·497
503·4	Schwachbläulich Grün	0·3771	0·1607	0·204
392·3	Violett	0·2307	0·0775	0·098
436·4	Indigo	0·2760	0·0992	0·126
574·2	Gelb	0·4786	0·2274	0·289
489·7	Grün	0·6893	0·5518	0·701
555·5	Gelb	0·8354	0·7159	0·909
557·4	„	0·8775	0·7872	1·000
554·5	„	0·8131	0·6800	0·864
543·1	Grünlich Gelb	0·6494	0·4418	0·561
505·8	Grün	0·4357	0·2137	0·271
417·8	Schwachbläulich Violett	0·2493	0·0844	0·108

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des grünen Strahles = 7·748.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des rothen Strahles = 1·702.

Summe beider = 9·450.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle = 9·474. Differenz = 0·024. Fehler = 0·002.

V. Gelb. $\lambda = 563$; $a = 0·94$; $J = 0·8943$.

Gelb-Orange; $\lambda_{ge} : \lambda_o = 14 : 15$; mithin $\lambda_o = 603$, $b = 0·68$. Es verhalten sich die Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen wie

$$J_{ge} : J_o = 8943 : 4366.$$

Diese Intensitäten vertheilen sich im resultirenden Strahle auf folgende Weise:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
579·1	Orangelich Gelb	1·6176	2·5770	1·000
578·9	„ „	1·6005	2·5234	0·979
578·7	Schwachorangelich Gelb	1·5630	2·4048	0·933

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
578·5	Schwachorangelich Gelb	1·5094	2·2335	0·867
578·1	„ „	1·4397	2·0446	0·793
577·6	„ „	1·3525	1·8052	0·700
576·8	Gelb	1·2513	1·5487	0·600
575·6	„	1·1692	1·3543	0·525
574·2	„	1·0115	1·0169	0·394
571·2	„	0·8773	0·5777	0·224
566·9	„	0·7366	0·5461	0·212
557·7	„	0·5946	0·3608	0·140
539·3	Grünlich Gelb	0·5625	0·3352	0·130
522·7	Grün	0·3421	0·1271	0·049
486·2	Grün-Blau	0·3007	0·1060	0·041

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Gelb = 13·415.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Orange = 6·113.

Summe beider = 19·528.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des resultirenden Strahles = 19·563. Differenz = 0·035. Fehler = 0·002.

Gelb-Roth; $\lambda_{ge} : \lambda_r = 7 : 8$; mithin $\lambda_r = 643$, $b = 0·40$. Es verhält sich in den interferirenden Strahlen

$$J_{ge} : J_r = 8943 : 1419.$$

Diese Intensitäten sind im resultirenden Strahle auf folgende Weise vertheilt:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
584·3	Orangelich Gelb	1·3341	1·7368	1·000
583·4	„ „	1·2857	1·6165	0·930
580·7	„ „	1·1997	1·4097	0·811
576·0	Schwachorangelich Gelb	1·0757	1·1457	0·659
568·4	Gelb	0·9275	0·8624	0·497
554·5	„	0·7723	0·6121	0·352
520·1	Gelblich Grün	0·6344	0·4306	0·248
518·8	Schwachgelblich Grün	0·5514	0·3335	0·192

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Gelb = 7·154.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität des Roth = 0·993.

Summe beider = 8·147.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode im resultirenden Strahle entwickelten Intensität = 8·147. Differenz = 0. Fehler = 0.

VI. Orange. $\lambda = 605$; $a = 0·67$; $J = 0·4229$.

Orange-Roth; $\lambda_o : \lambda_r = 12 : 13$; mithin $\lambda_r = 655$, $b = 0·33$. Es verhalten sich die Intensitäten der beiden interferirenden Strahlen wie

$$J_o : J_r = 4229 : 946.$$

Im resultirenden Strahle vertheilen sich diese Intensitäten folgendermassen:

Wellenlänge	Entsprechende Farbe im Spectrum	Amplitude	Intensität	
			Gelb (570) = 1	Eigenes Verhältniss
622·7	Roth-Orange	0·9982	0·9109	1·000
618·1	Röthlich Orange	0·9846	0·8943	0·982
618·9	„ „	0·9580	0·8464	0·928
620·0	„ „	0·9209	0·7798	0·856
617·6	„ „	0·8676	0·6948	0·762
616·2	„ „	0·8069	0·6025	0·661
613·5	Orange	0·7365	0·5123	0·562
614·2	„	0·6602	0·4041	0·443
600·0	„	0·5809	0·3203	0·351
596·6	Gelblich Orange	0·4970	0·2360	0·259
586·0	Orangelich Gelb	0·4315	0·1807	0·198
569·7	Gelb	0·3760	0·1414	0·155
568·6	„	0·3440	0·1186	0·130

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im orangenen Strahle = 5·497.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im rothen Strahle = 1·135.

Summe beider = 6·632.

Gesammtbetrag der im Verlaufe einer grossen Periode entwickelten Intensität im resultirenden Strahle = 6·642. Differenz = 0·010. Fehler = 0·001.

FÜNFTER ABSCHNITT.

Discussion, Rechtfertigung, Resultat.

Dem Physiker sind die Farben ein Process, von welchem er sich Rechenschaft abzulegen hat, nicht ein Product, welches ihm überliefert wird. Dove.

Es ist ein grosser Fehler, dessen man sich bei der Naturforschung schuldig macht, wenn man hofft ein complicirtes Phänomen als solches erklären zu können, da schon viel dazu gehört, dasselbe auf seine einfachsten Elemente zurückzubringen; aber es durch alle verwickelten Fälle mit eben der Klarheit durchführen zu wollen, ist ein vergebnes Bestreben. Wir müssen einsehen lernen, dass wir dasjenige, was wir im Einfachsten erkannt und geschaut, im Zusammengesetzten supponiren und glauben müssen, denn das Einfache birgt sich im Mannichfaltigen und da ist es wo bei mir der Glaube eintritt, der nicht der Anfang, sondern das Ende alles Wissens ist. Goethe.

§. 1. Es ist nothwendig der Discussion der im letzten Abschnitte mitgetheilten Tafeln eine kurze Besprechung über die Art ihrer Ableitung voranzuschicken, da es leicht geschehen könnte, dass die gegenwärtige Untersuchung in ihrer Grundlage angegriffen und gemissbilligt würde. So scheint es ein gewichtiger Einwurf, wenn es in Frage gestellt wird, ob die Natur der Aufgabe an sich eine rein geometrische Behandlung zulässt, ob das Problem der einfachen und gemischten Farben überhaupt einer mathematischen Lösung zugänglich sei. Denn die Farbenlehre trennt sich zum Theil aus dem Verbande mit der übrigen Optik ab; sie tritt durch ihre physiologische Seite wesentlich aus dem Bereiche der gegenwärtigen mathematischen Physik; die Unmittelbarkeit der Empfindung, die Rückwirkung des Organs gegen äussere Anregung von dem leisesten, unmerklichen Nachklingen bis zu den energischsten subjectiven Farbenerscheinungen, die ganze Reihe der physiologischen und pathologischen Farben — alles scheint eine geometrische Behandlung der Farbenlehre unzulässig, und die Resultate einer solchen in hohem Grade unsicher und zweifelhaft zu machen. Ich habe diese Schwierigkeiten keinen Augenblick übersehen; was mich aber dennoch versuchen liess die Aufgabe von dieser Seite anzugreifen, war folgende Betrachtung. Wenn es bisher auch noch nicht gelungen ist die Schwingungen, welche der Lichtempfindung nach der jetzt allgemein adoptirten Theorie zu Grunde liegen, thatsächlich nachzuweisen, so kann man

doch nicht wohl mehr, nach so vielen ja zahllosen Bestätigungen der Hypothese in den Erscheinungen der Interferenz und Polarisation, da auch nicht eine Thatsache mit ihr in Widerspruch steht, an der Realität jener Schwingungen zweifeln. Nach dieser Theorie ist aber die Farbe allein abhängig von der Schwingungsdauer; specifische Medien für verschiedene Farben hat noch Niemand in der Undulationstheorie für nöthig erachtet, obschon die Theorie Brewster's unstreitig solche erfordern würde, sobald es nämlich wirklich verschiedenfarbige Strahlen von gleicher Brechbarkeit gäbe. Es ist die verschiedene Schwingungsweise eines und desselben Äthers, welche die verschiedenen Farbenempfindungen erregt. Sobald nun gleichzeitig durch dasselbe Raum-Element eine zwei- oder mehrfache Bewegung fortschreitet, so wird auch ein und derselbe Ätherpunkt von zwei oder mehreren Kräften sollicitirt, und es ist nicht einzusehen, warum derselbe eine andere Bewegung annehmen sollte, als die aus den Einzelbewegungen resultirende. Bei homogenen Strahlen von gleicher, oder verschiedener Amplitude und gleicher oder verschiedener Phase hat man dies seit jeher so gehalten und es auf alle Weise bestätigt gefunden; es ist aber auch für verschiedenfarbige nicht zu bezweifeln, und es findet in diesem Falle so gewiss als in jenem eine Interferenz, d. i. ein Zusammenwirken mehrerer Kräfte auf einen Punkt Statt. Wird aber das empfindende Organ die Componenten aus den resultirenden Bewegungen herauslesen, oder nur die letzteren wahrnehmen? Beim Schalle findet gewiss das erstere Statt: es wäre jede Harmonie unmöglich, wenn nicht das Ohr die verschiedenen rhythmischen Bewegungen, die es gleichzeitig oder doch in sehr geringen Zeitintervallen treffen, zu scheiden und eben darum das Gesetzmässige und Symmetrische in denselben wahrzunehmen vermöchte; für das Auge aber gibt es keine Harmonie in diesem Sinne: dies begründet den tiefinnersten Unterschied zwischen der Malerei und Musik [1]). Das Auge empfindet allein die resultirende Bewegung, und da sich diese geometrisch scharf erfassen lässt, so ist *a priori* keine Unmöglichkeit vorhanden, den Fall, wo das Organ sich rein receptiv verhält, der Berechnung zu unterziehen und ihn mathematisch zu prüfen. Es kann geschehen, dass die Rechnung Resultate liefert, die unmittelbar nicht auszulegen sind: dann aber kann das Experiment Aufklärung schaffen und in der That wäre die vorliegende Arbeit unmöglich gewesen ohne das wichtige empirische

Materiale, das die Untersuchungen Helmholtz's geboten haben. Da also von der Reaction des Organes möglichst abgesehen wird, so muss wohl alles, was auf subjective Farbenerscheinungen Bezug hat, von dieser Arbeit ausgeschlossen bleiben, obschon eine strenge Grenze einzuhalten nach der Natur des Gegenstandes nicht möglich war.

Der Einwurf, dass bei dem Auffallen von parallelen oder nahezu parallelen Lichtbündeln auf das Auge eine solche Interferenz, wie wir sie hier betrachten, gar nicht stattfinden könne, indem es wegen der verschiedenen Brechbarkeit der Farben in der Linse (welche in der That nicht vollkommen achromatisch ist) keine gerade Linie gibt zwischen Linse und Retina, in der gleichzeitig zwei verschiedene Lichtbewegungen fortschreiten, lässt sich dadurch beseitigen, dass doch jede der einzelnen Bewegungen endlich ein Nerven-Element trifft, dem wir mit demselben Rechte transversale Schwingungen zuschreiben dürfen wie dem Ätherpunkte selbst; es wäre in der That schwer einzusehen, warum in dem Seh-Apparate die übertragenen Bewegungen anderer Art sein sollten als in dem die Bewegung bis dahin vermittelnden Medium. An der Nervenfaser decomponirt sich jede der einfallenden Bewegungen in eine transversale und longitudinale Erregung: die letzteren verschwinden entweder oder interferiren so wie die ersteren, und es schreitet die Bewegung dann im Nerven in der Weise fort wie wir sie hier betrachten. Bei zerstreutem Lichte aber, wo die verschiedensten Lichtkegel das Auge treffen, tritt die Interferenz in der That schon hinter der Linse ein und die Retina empfängt bereits die resultirende Bewegung.

§. 2. Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung wurde für alle Farben gleich gesetzt. Dies ist strenge genommen nicht richtig; weder im freien Raume noch in der Luft verbreiten sich die Schwingungen der verschiedenen Wellenlängen mit gleicher Geschwindigkeit. Für jene Annahme sprechen theoretische Gründe, in soferne die Ätherpunkte, so nahe sie auch immer sein mögen [2]), doch noch immer kein Continuum ausmachen, in welchem Falle allein allen Farben im freien Raume gleiche Geschwindigkeit zukäme [3]); für letzteres spricht die Erfahrung, welche die atmosphärische Dispersion ausser Zweifel gesetzt hat. Es wird daher nachzuweisen sein, dass auf die Richtigkeit der im zweiten und vierten Abschnitte gegebenen Tafeln dieser Umstand nicht den geringsten Einfluss nehmen kann. Wir setzten den Anfangspunkt der Coordinaten in jenen Punkt der Bahn der beiden

interferirenden Strahlen, wo zwei Anfangspunkte der Sinuscurve zusammenfielen. Offenbar wird es irgendwo, die ursprüngliche Schwingungsweise sei welche immer, bei commensurablen Längenverhältnissen der Wellen, einen solchen Punkt in ihrer gemeinschaftlichen Bahn geben, und wenn die Geschwindigkeiten beider Strahlen gleich wären, müssten diese Punkte regelmässig nach dem Durchlaufen einer Strecke, die wir die grosse Periode nannten, wiederkehren. Sind aber die Geschwindigkeiten verschieden, so wird es geschehen, dass diese Anfangspunkte in ihrer Wiederkehr verzögert und allmählich in verschiedene Stellen der Bahn versetzt werden, wohin sie der Rechnung nach nicht fallen sollten. Ist v_1 die Geschwindigkeit des ersten, v_2 die des zweiten Strahles und

$$v_1 \gtrless v_2$$

so sind die nach einer gewissen Zeit t durchlaufenen Räume:

$$s_1 = v_1 t$$
$$s_2 = v_2 t$$

folglich

$$s_1 : s_2 = v_1 : v_2$$

und

$$s_1 - s_2 : s_2 = v_1 - v_2 : v_2$$

und wenn wir die Differenz der Wege mit Δs, die der Geschwindigkeiten mit Δv bezeichnen

$$\Delta s : s_2 = \Delta v : v_2$$

Nun ist aber die Brechung und noch mehr die Dispersion [4]) in den Gasen eine höchst geringe; daher, wenn wir V die Geschwindigkeit des Lichtes im Raume nennen,

$$v_1 = V(1 + \varepsilon_1)$$
$$v_2 = V(1 + \varepsilon_2)$$

wo ε_1 und ε_2 sehr kleine von $\frac{1}{1,000.000}$ nur sehr wenig verschiedene Zahlen bedeuten. Es ist somit

$$\Delta v = V(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

und hieraus

$$s_2 = \Delta s \frac{1 + \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}$$

Damit aber die aus der Verschiedenheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit entspringende Abweichung in der Berechnung einen merklichen

Betrag erlange, muss Δs die Grösse eines nicht unbedeutenden Bruchtheiles einer Lichtwelle erreichen, also

$$\Delta s = \frac{\lambda}{m}$$

werden, wo m jedenfalls hundert nicht übersteigen darf; es ist sodann wegen $s_2 = n\lambda$

$$n = \frac{1}{m} \cdot \frac{1+\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}$$

da $\frac{1+\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}$ stets eine sehr grosse, wenigstens einer Million gleiche Zahl ist, so muss eine bedeutende Zahl grosser Perioden ablaufen, ehe dieser Einfluss sich in der Rechnung merklich macht; aber selbst dann beeinträchtigt er die Richtigkeit unserer aus der Länge der grossen Periode gefolgerten Resultate nicht im geringsten, denn diese Länge bleibt stets dieselbe und ebenso der Rhythmus der über sie vertheilten Bewegungen, und es wird somit die verschiedene Geschwindigkeit der verschiedenen farbigen Strahlen durchaus keinen Einfluss auf die resultirende Mischfarbe ausüben.

§. 3. Es war von grosser Wichtigkeit vor der Untersuchung der aus der Mischung der einzelnen Farben des Spectrums entstehenden resultirenden Töne den Begriff der Intensität der verschiedenen homogenen Farben festzustellen. Dass die Amplitude dabei nicht allein ausreicht — indem das Quadrat derselben allerdings für einfarbiges Licht massgebend sein kann, aber nicht für die Intensität mehrerer verschiedengefärbter Strahlen — lehrt schon der Schall; es ist Niemand entgangen, wie gewisse sehr hohe Töne, deren Schwingungsweite nicht beträchtlich ist, ihre durchdringende Wirkung, ja die Fähigkeit, selbst donnerähnliche, gewaltigschallende tiefe Tone von mächtigen Amplituden zu übertönen, oder sich gegen dieselben abzuheben, nur der grossen Schnelligkeit, mit der ihre Schwingungen auf einander folgen, also der Kürze ihrer Wellen, verdanken; dies deutet auf ein Wachsen der Intensität im verkehrten Verhältniss der Wellenlängen, wie es eben das Integrale

$$\int \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 dt = k\frac{a^2}{\lambda}$$

ausdrückt. Es ist dabei nur auf eines zu merken. Jede Farbenempfindung lässt sich in zwei ganz verschiedene Momente zerlegen: das Auge nimmt nämlich erstens eine gewisse Erleuchtung wahr,

die ihr Mass in der Schärfe der Abgrenzung der Körperumrisse findet, in dem lebhaften Gegensatze gegen die Empfindung der Ruhe, welche das Dunkel gewährt; dann aber erhält es noch einen specifisch chromatischen Eindruck. Die erstere dieser Wahrnehmungen lässt nur quantitative Abstufungen zu; sie ist das, was eigentlich Intensität, Leuchtkraft genannt werden soll. Die andere aber ist sowohl qualitativer als auch quantitativer Übergänge fähig; die qualitativen rollt das prismatische Spectrum vor dem Auge auf, die quantitativen dagegen werden durch die grössere oder geringere Energie gemessen, mit der ein gewisser Farbenton gegen das indifferente Weiss absticht. Vischer [5]) nennt die qualitativen Abstufungen Farbenschattirungen, die quantitativen Farbentöne; es scheint aber, dass die Benennungen vielmehr umgekehrt gewählt werden sollten, indem die Töne des Schalles nach der Wellenlänge unterschieden werden und es kaum zu billigen ist einen aus einer benachbarten verwandten Disciplin entlehnten Ausdruck seiner ursprünglichen Bedeutung zu entkleiden, zumal wenn analoge Verhältnisse dort und da das gleiche Bedürfniss eines *terminus technicus* erzeugten; auch liegt es schon in dem Worte Schattirung, dasselbe lieber für die Grade der Beschattung, „der Verdünnung in Weiss, der Verdichtung in Dunkel" zu gebrauchen. Grassmann [6]), der dieselbe Unterscheidung betreff der Momente der Farbenempfindung macht, wählt, wie es mich dünkt, richtiger Farbenton für die qualitativen, Intensität des beigemischten Weiss für die quantitativen Abstufungen; da ich Gründe habe letztere Benennung zu vermeiden (s. unten §. 4), so werde ich einfach zwischen den Farbentönen [7]) und zwischen den Graden der Reinheit jedes Tones unterscheiden, indem ich als den höchsten Grad der Reinheit eines Farbentones jenen ansehe, der sich im prismatischen Spectrum zeigt, von wo aus derselbe Ton bei gleichbleibender Lichtstärke durch alle Grade der Verfahlung bis ins Weiss übergehen kann; jener höchste Grad der Reinheit kömmt also allein dem homogenen Lichte zu, das keine Abstufungen haben kann, da die Homogenität kein relativer, sondern ein absoluter Begriff ist, wenn auch homogenes Licht nur so weit dies bei der Beschaffenheit unserer brechenden Mittel möglich ist, dargestellt werden kann. Von einer Intensität der Farben aber sollte gar nicht gesprochen werden, da dieser Ausdruck mindestens zweideutig ist.

Der analytische Ausdruck der Leuchtkraft ist der Quotient $2\pi^2\frac{a^2}{\lambda}$, d. i. die durch die schwingenden Partikel ins Werk gesetzte Arbeit; diese ist durch die Fraunhofer'schen Messungen in erster Annäherung bestimmt (vergl. unten §. 5, 6). Nach diesen Messungen ist die leuchtendste aller Farben das Gelb, indem die Intensität der Erleuchtung von da gegen beide Enden des Spectrums hin abnimmt, und zwar rascher gegen Violett als gegen Roth. Es ist aber wohl zu bemerken, dass dieses Verhältniss nicht in der Natur der Farben begründet ist, es ist eben so gut eine Lichtquelle denkbar, in deren Spectrum die leuchtendste Stelle anderswo als im Gelb liegt; wenigstens ist durchaus nicht einzusehen, warum im Allgemeinen die Amplituden Functionen der Wellenlängen sein sollten, vielmehr muss für jede Lichtquelle und jedes durchsichtige Mittel das Verhältniss jener beiden Bestimmungsstücke des Lichtes eine Function der specifischen Beschaffenheit der leuchtenden oder erleuchteten Medien sein. Wenn wir daher von diesem allgemeinen Standpunkte über die Leuchtkraft der einzelnen Farben urtheilen, wenn wir untersuchen, in wiefern die Wellenlänge die Lichtstärke bedingt, so finden wir, dass bei gleichen Amplituden (und durch entsprechendes Abdämpfen könnte man dies ungefähr bewerkstelligen) die Intensitäten umgekehrt wachsen wie die Wellenlängen, d. i. die leuchtendsten Farben unter übrigens gleichen Umständen sind die des violetten Endes und die Leuchtkraft nimmt in den Masse ab, als man sich dem rothen Ende des Spectrums nähert.

Es kostet einige Anstrengung sich in eine Anschauungsweise zu ergeben, nach welcher die Leuchtkraft strenge geschieden wird von der chromatischen Intensität, deren Maximum wohl Niemand in dem unteren Ende des Spectrums suchen wird, und es würde Goethe, dessen hohen Farbensinn Jedermann anerkennt, man halte von seiner Theorie was immer, und der sich zu Zeiten gefiel die Realität der blauen Farbe als Farbe, ihres schattigen Ansehens wegen zu leugnen, darin keinen geringen Anlass gefunden haben, der Undulationstheorie sowie der Emissionshypothese Unnatur und Künstelei vorzuwerfen.

Versuchen wir aber, ob sich nicht Thatsachen auffinden lassen, die jenen paradoxen Satz wenigstens in etwas zu bestätigen scheinen. In der Liechtenstein'schen Gallerie machte ich im vorigen Sommer

zu wiederholten Malen die Beobachtung, dass bei einer dauernden Beschattung des mittleren Saales, der auf der einen Wand die Decius-Bilder des Rubens enthält, in denen viel Roth, auf der anderen mythologische Gemälde Franceschini's, in denen gewisse blaue Gewänder vorkommen, endlich die rothen Partien verschwanden, obschon die blauen Stellen noch immer sichtbar blieben, bis endlich auch sie bei zunehmender Dunkelheit sich in den Schatten verloren. Ich konnte mir damals keine Rechenschaft darüber geben und verfolgte diese Erfahrung auch nicht weiter; nun finde ich aber dieselbe Beobachtung von Dove [8]) mitgetheilt, der sie durch stereoskopische Versuche noch weiter prüfte und folgende Erklärung gibt:

„Bekanntlich gelangen nur unmittelbare Eindrücke auf die Sinnesorgane zu unserem Bewusstsein; die schwächsten auf dieselben wirkenden Bewegungen werden nicht mehr einzeln empfunden, aber dann, wenn sie sich schnell gleichmässig wiederholen. Daraus ist deutlich, warum um vernommen zu werden, die Saiten des Contrabasses weiter schwingen müssen als die der Violine, da bei der geringen Anzahl der Schwingungen sie energischer sein müssen, warum wir in höherem Tone sprechen, wenn wir ohne grosse Anstrengung gehört werden wollen, warum, wenn die tiefe durch das Sprachrohr verstärkte Stimme des Seemannes im Sturme verhallt, noch der schrillende Ton der Bootspfeife durch das Brausen der Wogen und das Geheul des Windes hindurch dringt. Savart hat vermittelst der Speichensirene gezeigt, dass die Grenze der Wahrnehmbarkeit der Töne nach der Tiefe hin durch die Stärke der Töne erweitert werden kann. Die volle Gleichartigkeit der Schwingungen bewirkt das Summiren der Eindrücke am vollständigsten, indem die durch ungleiche Schwingungsdauer bewirkten Interferenzen dann wegfallen. Diese Gleichförmigkeit bewirkt bei den Tönen die Reinheit, bei den Farben die Homogenität. Das Blau verhält sich aber zum Roth wie ein höherer Ton zu einem tieferen; bei dem ersteren sind die Schwingungen der Netzhaut häufiger als bei dem letzteren, wie die des Trommelfelles zahlreicher bei höheren Tönen als bei tieferen. Da nun bei schwächer werdendem Tone die Grenze der Wahrnehmbarkeit tiefer Töne abnimmt, so ist es vollkommen dem entsprechend, dass bei abnehmender Helligkeit die Grenze der Wahrnehmung des Roth sich ebenfalls verengert. Die rothe Farbe wird daher bei schwacher Beleuchtung nicht mehr gesehen werden,

während die grosse Anzahl der Schwingungen bei blauem Lichte dessen Wahrnehmbarkeit länger erhält. Auf diese Weise erkläre ich mir die wunderbare Erscheinung, über welche sich aber merkwürdiger Weise noch Niemand gewundert hat, dass bei dem schwachen Sternenlichte sich das Blau des Himmels noch deutlich geltend macht."

Hier ist nur eines zu bemerken. Töne verschiedener Höhe müssen für ihre Wahrnehmbarkeit allerdings auch nach unserer Intensitätsformel verschiedene Grenzen der Schwingungsweiten haben; denn wenn die Grenze der Empfindlichkeit des Organes (die bei verschiedenen Individuen sehr verschieden sein kann) durch einen gewissen empirischen Minimumwerth des Quotienten $2\pi^2 \frac{a^2}{\lambda}$ gegeben ist, so sieht man, dass für kleinere λ (höhere Töne) die Amplitude viel tiefer sinken kann als für grössere (tiefere Töne), so dass sehr hohe Töne noch bei einer Oscillationsweite deutlich vernommen werden, bei der tiefe Töne längst über die Grenzen der Wahrnehmbarkeit hinausfallen. Nehmen wir aber an, dass in einem gegebenen System von Tönen die Schwingungsweiten aller verschiedenen in demselben enthaltenen Wellen gleichzeitig um gleiche Theile gewisser ursprünglicher Amplituden ab- oder zunehmen, so werden auch in dem ganzen Systeme die Intensitäten gleichförmig sich ändern, so dass das Verhältniss der Intensitäten nicht afficirt wird, die Töne seien der Höhe nach wie verschieden immer. Ein so gleichförmiges Anwachsen oder Abnehmen der Schwingungsweite eines ganzen Tonsystemes wäre beim Schalle sehr schwer hervorzubringen; beim Lichte dagegen kann man es kaum anders haben, indem es durchaus wahrscheinlich, und mehr als wahrscheinlich ist, dass bei variirender Helligkeit die Amplituden aller Theile des farblosen Strahles um gleiche Theile ihrer ursprünglichen Beträge sich ändern, wenigstens liegt bis jetzt keine genügend studirte Thatsache vor, welche den Beweis lieferte, dass gegen die Dämmerung hin die rothen und gelben Strahlen mehr absorbirt würden als die blauen und violetten und Seebeck's Ausspruch, dass „in der Dämmerung die wenigst brechbaren Strahlen zuerst aus dem Lichte der Atmosphäre verschwinden" [9]), wird, wie es scheint, von Dove selbst nicht zugegeben, der gleich darauf das Experiment von Hassenfratz [10]) anführt, welches gerade das Gegentheil lehrt. Hassen-

fratz fand die Länge des Spectrums bei hohem Sonnenstande 185 Millimeter, bei Sonnenuntergang 70 Millimeter und dabei fehlten gerade die Strahlen der blauen Seite, so dass das ganze Farbenbild aus Roth, Orange und Grün bestand. Dies stimmt ganz mit den Fraunhofer'schen Intensitätsmessungen, nach welchen bei gleichförmig abnehmender Helligkeit erst Violett, dann Indigo und das obere Ende von Roth, hierauf Blau und der grössere Theil von Roth aus dem Spectrum verschwinden müssen. Wenn nun die Körperfarben durch eine Änderung der Amplituden des auffallenden Lichtes entstehen, indem die Absorption die einzelnen Bestandtheile desselben ungleich afficirt, so kann die Erklärung Dove's nicht bestehen, so lange die Fraunhofer'schen Messungen als richtig betrachtet werden. Aus demselben Grunde muss auch eine Beobachtung Pouillet's, auf die wir später zurückkommen werden, unter die bisher unerklärlichen Thatsachen gereiht werden.

Eine Erscheinung, auf welche die Aufmerksamkeit in neuester Zeit sich gewandt hat, scheint auf den ersten Augenblick mit der hier vorgetragenen Ansicht über die Intensität des Lichtes in offenem Widerspruche zu stehen; es ist die innere Dispersion *(internal dispersion)*. Stokes hat gezeigt, dass dieselbe sich einfach aus einer Veränderung der Brechbarkeit des einfallenden Lichtes erklären lasse, und zwar einer solchen Veränderung, durch welche die Oscillationsdauer, also auch die Wellenlänge, wächst. Ist nun die Intensität gleich $2\pi^2\frac{a^2}{\lambda}$, so muss jede Vergrösserung der Wellenlänge die Sichtbarkeit verringern statt sie zu erhöhen, und was die unsichtbaren Strahlen sichtbar machen sollte, muss vielmehr selbst die sichtbaren auslöschen. Wenn wir nun, wie es gewöhnlich geschieht, statuiren, dass das Auge überhaupt nicht fähig sei Strahlen von einer Wellenlänge, die ausser der Grenzen 380 und 680 liegen, wahrzunehmen, wenn wir also eine physiologische Thatsache, über welche die mathematische Betrachtung keine Rechenschaft abzulegen, von welcher sie vielmehr auszugehen hat, als ein Grundphänomen in die Untersuchung einführen, so kann das Integrale $\int\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 dt$ überhaupt die Intensität nicht repräsentiren, da es auf keine Weise mit jenen Grenzen in Zusammenhang zu bringen ist; ich glaube aber, dass nichts nöthigt eine solche Beschränkung zuzugeben, ich hoffe vielmehr nachzuweisen, dass das Auge noch für Wellenlängen

empfindlich ist, die weit ausserhalb jener octroyirten Grenzen liegen, und dass es nur darum im Spectrum diesseits Roth und jenseits Violett nichts mehr wahrnimmt, weil da die Amplituden zu gering sind, um eine Lichtempfindung hervorzurufen, ein Umstand, der nicht in der Natur des Auges sondern in der Beschaffenheit der verschiedenen Lichtquellen begründet und folglich rein objectiver Natur ist. Ein subjectives Datum ist nur das durch das Organ gesetzte Minimum der zur Sichtbarkeit erforderlichen Intensität, und das Auge empfindet keine weitere Erregung, jenes Minimum werde durch übermässige Verzögerung der Oscillationszeiten oder durch übermässiges Schwinden der Amplituden überschritten. Würde nun bei der inneren Dispersion blos die Wellenlänge afficirt, ohne dass zugleich ein Wachsthum der Amplituden stattfände, so gäbe es allerdings einen unlösbaren Widerspruch zwischen der Theorie Stokes und jener Annahme, die die Intensität des Lichtes nach der Arbeit schätzt, die durch die Schwingungen erzeugt wird. Aber nichts berechtigt in der Stokes'schen Theorie eine Erhaltung der Amplituden anzunehmen. Stokes [11]) sagt: „Nichts scheint natürlicher als vorauszusetzen, dass die einfallenden Schwingungen des Lichtäthers schwingende Bewegungen unter den letzten Moleculen der empfindlichen Substanz hervorrufen, und dass umgekehrt die für sich schwingenden *(swinging on their own account)* Molecule wiederum Vibrationen im Lichtäther erzeugen und dadurch die Lichtempfindung verursachen. Die Perioden dieser Vibrationen hängen ab von den Perioden, in welchen die Molecule zu schwingen geneigt sind, nicht von denen der einfallenden Vibrationen.“ Es müssen demnach die Amplituden im Allgemeinen andere werden und die Sichtbarkeit der Strahlen zeigt, dass die Amplituden des neuerzeugten Lichtes grösser sein müssen als die des einfallenden. Die Zulässigkeit dieser Folgerung aus der Stokes'schen Theorie nach den Principien der Mechanik zu prüfen, ist nicht unsere Aufgabe.

§. 4. Die Ungewissheit über den Begriff der Intensität des Lichtes der verschiedenen Farben hat manche schätzbare Bemühung unfruchtbar gemacht. So hat Doppler [12]) einen Vorschlag zu einer neuen Classification der Farben gemacht, von welchem er glaubt, dass er, auf klaren und richtigen Principien beruhend, zu wichtigen Folgerungen führen müsse; während gerade die Priciрien willkürlich und unmotivirt sind, indem er einerseits die Intensität eines Farben-

gemisches nach dem Kräften-Parallelogramm zusammensetzt, andererseits das weisse Licht aus rothen, blauen und gelben Elementen, die unter einander gleich sind, construirt.

Bedeutender ist die Arbeit Grassmanns [13]), der die Helmholtz'schen Beobachtungen mit der Newton'schen Farbenregel in Einklang zu bringen, und diese selbst strenge zu begründen versucht. Ich muss des Folgenden wegen diese Arbeit etwas genauer analysiren. Grassmann stützt sich auf folgende Voraussetzungen:

1) Jeder Farbeneindruck setzt sich aus den 3 Momenten: des Farbentones, der Intensität der Farbe und der Intensität des beigemischten Weiss zusammen und zwar ausschliesslich nur aus diesen 3 Momenten.

2) Wenn man von zwei zu vermischenden Lichtern das eine stätig ändert, während das andere unverändert bleibt, so ändert sich auch der Eindruck der Mischung stätig.

3) Zwei Farben, deren jede constanten Farbenton, constante Farbenintensität und constante Intensität des beigemischten Weiss hat, geben auch eine constante Mischung, gleichviel, aus welchen homogenen Farben sie zusammengesetzt seien.

4) Die gesammte Lichtintensität der Mischung ist gleich der Summe der Intensitäten der gemischten Lichter.

Gegen die erste dieser Voraussetzungen lässt sich nichts bemerken; nur, glaube ich, ist es nicht richtig anzunehmen, dass das Spectrum alle Farbentöne enthalte, wie dies in der Exposition der ersten Voraussetzung geschieht; nicht nur sind im Spectrum viele homogene Töne nicht sichtbar, an deren Existenz jenseits der beschränkten Grenzen man doch nicht zweifeln kann, und die nur durch die Vermittelung gewisser Substanzen wahrnehmbar werden, sondern es erzeugen sich durch Mischung mehrerer homogener Töne völlig neue, im Spectrum nicht vorhandene Farbentöne, was schon Newton [14]), Musschenbroeck und Andere bemerkt haben und was eine genaue Vergleichung des Spectrums mit den Körperfarben lehrt. Wenn daher Grassmann aus den beiden ersten Voraussetzungen schliesst, dass es zu jeder homogenen Farbe eine andere homogene Farbe gebe, die mit ihr vermischt farbloses Licht liefert, so folgt dies wenigstens nicht mit Strenge aus seinen Voraussetzungen. Wie denn auch in der That der Übergang aus den bläulichen Mischtönen in die röthlichen ohne einen Durchgang durch Weiss nicht so undenkbar ist,

wie Grassmann behauptet, da es eine Grenze gibt, gegen welche hin die gelben Eindrücke so an Intensität überwiegen, dass das allmähliche Schwinden der blauen gegen das Wachsen der rothen nimmermehr einen rein weissen Eindruck zu erzeugen im Stande sein wird. So müssen die Mischfarben, welche entstehen, wenn Blau mit den oberen Theilen des Spectrums (von grün bis roth) interferirt, nach meinen Berechnungen folgende sein:

blau,
hellblau,
hellgrünlichblau,
hellbläulichgrün,
sehr bleichgrün,
sehr bleich gelblichgrün.
sehr fahl gelb (fleischfarben),
schwach röthlichfleischfarben,
sehr hellgelblichroth,
hellrosaroth,
rosaroth.

Dies stimmt vollkommen mit Helmholtz's Beobachtungen (die letzten rothen Töne sind vielleicht stärker roth als es nach diesen sein sollte, doch das wird weiter unten genügend aufgeklärt); es findet also hier ein Übergang aus den blauen in die rothen Töne ohne Sprung, und doch auch ohne einen Durchgang durch Weiss Statt: unser Blau hat daher im Spectrum keinen complementären Ton. Ähnliche Erfahrungen haben alle genaueren Experimentatoren, von Newton [15]) bis auf Biot [16]) und Helmholtz [17]), gemacht.

Wenn Grassmann in den Newton'schen Farbenkreis die Fraunhofer'schen Linien einträgt, so ist damit nur eine scheinbare Genauigkeit erzielt. Denn erstens sind die Bögen, welche Newton den einzelnen Farben anweist, nicht proportional den Räumen, welche diese Farben im Spectrum einnehmen; es ist daher gar nicht möglich diese Linien genau einzutragen, da entweder ihre relativen Intervalle verrückt oder ihre Lagen in andere Farbenräume verlegt werden müssen; zweitens ist es sehr misslich mit der Bestimmung der Länge der rothen und violetten Streifen und der Vertheilung ihrer fixen Linien in dem Farbenkreise (wenn Grassmann B mit H zusammenfallen lässt, so ist dies eine reine Willkürlichkeit, die sich kaum mit einer mathematischen Begründung verträgt). Man wird einwenden,

die Abweichungen von der Natur würden trotzdem nie besonders merklich; ich lasse es gelten, nur gebe man dann auch andererseits zu, dass es nicht möglich sei, von dieser Regel irgend ein entscheidendes, theoretisches, genaues Resultat zu erwarten.

Die dritte Vorausetzung lautet unklar. In der Discussion derselben lehrt Grassmann eine Construction zur Darstellung der Mischfarben aus 2 einfachen oder gemischten Farben, indem er im Farbenkreise die Componenten durch radiale Linien darstellt, deren Richtung den Farbenton, deren Länge ihre Leuchtkraft repräsentirt, und hieraus mittelst des Kräfte-Parallelogramms die Resultirende sucht. Dabei erhält er als Intensität der Resultirenden die geometrische Summe der Intensitäten der Componenten, während sie doch gleich ist der arithmetischen Summe, und einen Farbenton, der nothwendig im Spectrum enthalten sein muss, während er in der That doch auch in demselben fehlen kann. Man würde daher auch die an sich richtige vierte Voraussetzung nicht im Einklange mit dieser Construction finden, wenn nicht in dem Commentar zu derselben die Richtigkeit des Satzes und der Widerspruch mit der Construction aufgehoben würde, indem es da heisst: „Ich verstehe unter der gesammten Lichtintensität die Summe aus der Intensität der Farbe, aus der Intensität des beigemischten Weiss und die Intensität des Weiss wie auch jeder einzelnen Farbe setze ich dabei nicht dem Quadrat der Vibrations-Intensität, sondern dieser selbst proportional, so dass also bei der Vermischung zweier weisser oder gleichfarbiger Lichter die Intensität der Mischung die Summe wird aus der Intensität der vermischten Lichter. Es ist diese Voraussetzung nicht so wohl begründet wie die vorigen, obschon sie sich aus theoretischen Betrachtungen durchaus als die wahrscheinlichste ergibt.“ Ich muss meine Unfähigkeit bekennen diese Erklärung ganz zu verstehen. Soll es oben statt Vibrations-Intensität, Schwingungsweite heissen? Was heisst aber dann Schwingungsweite des Weiss? Wie lässt sich überhaupt Weiss mathematisch mit gleicher Einfachheit wie homogenes Licht behandeln? Welches sind die theoretischen Gründe, die es wahrscheinlich machen, dass die Intensität eines Lichtes der Vibrations-Intensität oder der Amplitude einfach proportional sind, und nach welchen die Wellenlänge ganz ausser Betracht kömmt?

Aus all diesem geht hervor, dass Grassmann kaum berechtigt ist, seine Darstellung der Newton'schen Regel als strenge begründet

zu betrachten, und dass es überhaupt ein vergebliches Bemühen ist, dieser, als empirischer Regel an sich höchst werthvollen Construction, einen höheren theoretischen Sinn beilegen zu wollen. Newton selbst hat dies klar ausgesprochen, und es scheint nicht, dass er in diesem Falle sein Werk unterschätzt hat [18]).

§. 5. Während so der Ausdruck für die Leuchtkraft aus dem Princip der Erhaltung der Arbeit auf eine ganz klare und naturgemässe Weise sich herstellen lässt, ergeben sich grössere Schwierigkeiten, die rein chromatische Seite der Farbenempfindung analytisch zu erfassen. Der Ton der homogenen Farbe ist allerdings durch die Wellenlänge vollkommen bestimmt, und in sofern muss auch der resultirende Ton eines Farbengemisches eine Function der Wellenlängen sein, die sich periodisch in demselben erzeugen; aber hier erwächst schon eine Schwierigkeit. Während es nämlich im homogenen Strahle für die Rechnung einerlei ist, ob man Wellenlänge die Distanz zweier Maxima der Sinuslinie oder das Intervall zwischen zwei homologen Knotenpunkten derselben nennt, tritt bei gemischten Farben, deren Schwingungscurve unter keiner Bedingung die Sinuslinie werden kann, ein Unterschied zwischen jenen Grössen ein, indem die Maxima der Ausschläge im Allgemeinen nicht mit der Mitte des Abstandes zweier Knotenpunkte zusammenfallen, sondern bald näher dem einen, bald dem anderen Knotenpunkte liegen und ausserdem bei manchen der resultirenden Curven selbst zwei (bei mehr als zwei homogenen Componenten zuweilen sogar mehr) Maxima auf einander folgen, ohne dass die Curve inzwischen die Axe geschnitten hätte, wie z. B. bei der Interferenz blauer und rother Strahlen. Es war hier nothwendig sich für eine bestimmte Vorstellung zu entscheiden, da der Gang der weiteren Berechnung wesentlich von dem Begriffe der Wellenlänge im resultirenden Strahle abhing; die Entscheidung aber konnte aus dem Calcul nicht gezogen werden, und ich musste auf den Act des Sehens selbst zurückgehen. Es scheint aber, dass, sobald man annimmt, die Bewegung des Äthers theile sich den Nervenelementen mit und versetze diese in eine ähnliche schwingende Bewegung, es auch mit Nothwendigkeit folge, dass für den Act der specifischen Farbenempfindung nur die Entfernung der Knotenpunkte eine Bedeutung haben könne, oder die Zeit, während welcher ein Nerven-Theilchen aus seiner Ruhelage verrückt bleibt, wesshalb es auch nur eine mathematische Fiction ist bei dem homogenen Lichte Wellenlänge die ganze Strecke zu nennen, die in der

Sinusformel einem Bogen von 2π zukömmt, da für das Auge in der That jedes Intervall zwischen 2 Knotenpunkten die Bedeutung einer Wellenlänge haben muss. Aus diesem Gesichtspunkte gewinnen wir dann auch eine merkwürdige Einsicht in die Wirksamkeit der verschiedenen homogenen Farben selbst, denn da der Reiz um so grösser ist, je länger (innerhalb gewisser Grenzen) die Erregung dauert, Reiz aber gleichbedeutend ist der geweckten Lebensthätigkeit, so kann man es wagen aus der Undulationstheorie eine Deutung der ästhetischen Wirkung der Farben zu versuchen, die zwar nicht symbolisirt [19]) aber an Wahrscheinlichkeit kaum hinter den aus anderen Theorien gewonnenen Erklärungen zurückbleibt. Dunkelheit, Schatten, Nacht gewährt der Netzhaut Ruhe, und wirkt psychisch wie jeder dauernde Mangel an äusserer Anregung: in sich versenkend, dem Leben abkehrend; um so mehr als die Lichterregung unter die gewöhnlichsten, dauerndsten, und gleichförmigsten Empfindungen gehört, und somit eine der ersten Bedingungen jeder Lebensthätigkeit nach aussen bildet. Je dauernder der Reiz der Gesichtsnerven ist, desto kräftiger wird die Seele in den Conflict mit der Aussenwelt gezogen, desto mehr kehrt das Gemüth dem Leben sich zu. Kürzere Wellen erlauben eine öftere Wiederkehr in die Ruhelage, daher die schattige Beschaffenheit des Blau, die jeder wahrnimmt, der sich eine Zeitlang unbefangen in Tiefen des reinen Himmels versenkt, und welche die Täuschung der Aristotelischen Schule so begreiflich, ihre Hartnäckigkeit so erklärlich macht. Die „kalte, lichtreizende und doch in ein Nichts versenkende Natur“ des Blau liegt in den verhältnissmässig öfter wiederkehrenden Durchgängen durch die Ruhelage, den Nullpunkt der Empfindung, während seine Lichtarmuth zugleich auf Rechnung der geringen Amplitude kömmt. Im Roth dagegen ist der Reiz der dauerndste, folglich die Lebensregung in der Retina die mächtigste: daher die mächtig aufregende, erhebende Wirkung, des „feurigen, vollen, prächtigen Roth“; gesellt sich hiezu noch ein bedeutender Ausschlag, so wird es unerträglich, gewaltsam und für die Dauer jede gesunde Farbenempfindung zerstörend. Es ist darum fürs Auge höchst wohlthätig, dass im Sonnenlichte die gelben, zwischen jenem schattenverwandten reizlosen Blau und diesem überreizenden Roth, dem Farbenreiz (Wellenlänge) nach mitten inneliegenden Töne, die grössten Amplituden und folglich auch den grössten Antheil an der Beleuchtung besitzen; denn das Gelb wirkt durch seinen mittleren Zustand

zwischen Reizlosigkeit und höchstem Reize psychisch sanft erregend, klar und warm; es ertheilt die für eine dauernde harmonische Thätigkeit günstigste Stimmung und man kann mit voller physikalischer Wahrhaftigkeit und Nüchternheit sagen, das Auge sei der Sonne gemäss geschaffen, und so den ahnungsvollen Spruch der Alten bestätigen, welche dem Auge sonnenhafte Natur zueigneten [20]). Überall begegnen wir dieser Ökonomie der Schöpfung; wir athmen sehr verdünnten Sauerstoff, da sich in reinem Sauerstoff das Leben in schnellem Taumel bald erschöpfte; wir sind auf Wasser als unser naturgemässes Getränk gewiesen, das nur nährt und erfrischt ohne zu reizen; wir sehen in einem Lichte, dessen Hauptbestandtheile Oscillationen sind, die fast farbig indifferent wirken; überall stehen die allgemeinen irdischen Agentien in einem solchen Verhältnisse zu unserem Organismus, dass daraus eine mässige und dauernde Lebensthätigkeit ermöglicht wird.

Eine weitere Bestätigung der hier entwickelten Ansichten über den specifischen Farbenreiz wird das Folgende bieten, wo ich zeigen werde, dass es allerdings Vibrationen gebe, die viel länger dauern als die des äussersten Roth, dass dieselben aber dann nur nach Unterbrechungen wiederkehren und so dem gereizten Nervenelemente die Möglichkeit einer Erholung und Abwechslung lassen; zugleich wird sich zeigen, wie dieselben trotz ihrer geringen Amplituden dennoch entscheidend sind für den Ton des Gemisches, in welchem sie sich bilden, und folglich diese „tonangebende Kraft" einzig ihrer Dauer verdanken.

Dass daher zwischen Lichtstärke (proportional dem Quadrate der Amplituden und dem reciproken Werthe der Wellenlänge) und Lebhaftigkeit (proportional der Wellenlänge) einer homogenen Farbe wohl zu unterscheiden sei, leuchtet ein; auch wird Niemand aus der Länge der Wellen einen directen Schluss auf die Länge der Dauer einer Lichtempfindung machen wollen, da diese ein sehr complicirter Effect ist und natürlich nicht von der Wellenlänge allein abhängt, sondern sowohl von dem specifischen Farbenreize als auch von der Grösse des Ausschlages, was denn auch durch die Erfahrung bestätigt wird [21]).

§. 6. Nach diesen Präliminarien kann zur Besprechung der in den Tafeln enthaltenen Resultate geschritten werden. Meine Vorstellung über die Empfindung einer nicht homogenen Farbe ist aber diese

das Auge empfängt in rascher Folge verschiedene rhythmisch wiederkehrende Eindrücke, aus welchen sich nach einer gewissen Dauer dieser Einwirkung die Licht- oder Farbenempfindung entwickelt; auf den resultirenden Ton werden die Particular-Erregungen einen um so entscheidenderen Einfluss nehmen, je dauernder und je weiter sie das Nervenelement aus seiner Ruhelage verrückt halten. Es werden daher im Allgemeinen die den rothen Tönen entsprechenden Wellenlängen und die mit den grössten Ausschlägen begabten Vibrationen den grössten Einfluss üben und derselbe lässt sich demnach messen durch die Flächen, welche die einzelnen Curvenstücke von Knotenpunkt zu Knotenpunkt mit der Abscissenaxe einschliessen, d. i. durch das Integrale

$$\int_{x_0}^{x_0'} \left(a \sin \frac{2\pi}{\lambda_1} x + b \sin \frac{2\pi}{\lambda_2} x\right) dx$$

unter x_0 und x_0' solche Abscissen verstanden, für welche die Ordinaten durch den Nullpunkt gehen. Dies Integrale aber ist, wenn wir mit A die grösste Ordinate innerhalb der Strecke $(x_0\ x_0')$, mit Λ die Differenz $x_0'—x_0$ bezeichnen nahezu proportional dem Quotienten $A\Lambda$; es wird derselbe daher als Mass des Einflusses gelten können, den eine bestimmte Particularwelle auf den farbigen Charakter des resultirenden Strahles nimmt. Wie sich aber die verschiedenen Einzelwirkungen bei der Bildung einer totalen Empfindung stören und modificiren, lässt sich *a priori* durchaus nicht vermuthen, und es muss dies eben aus der Vergleichung der Rechnungsdaten mit der Erfahrung gelehrt werden. Bei der Untersuchung der Resultate unserer Tafeln muss jedoch das eine fest im Auge behalten werden, dass dieselben die Folge der Partialerregungen darstellen, aus deren rhythmischer Wiederkehr ein Farbenton sich bildet: es kann daher objectiv (durch Brechung) eine Farbe in ganz andere Elemente zerlegt werden, als in dem Acte der Empfindung thätig sind. Die gewöhnliche Betrachtungsweise setzt zwei oder mehrere homogene Farben neben einander, und indem sie sagt: roth und gelb gibt orange, kümmert sie sich nicht weiter um Art und Ursache dieser Wirkung; hier aber ist der Versuch gemacht, das Nebeneinander in ein Nacheinander zu verwandeln, und jene Thatsache zu analysiren

und wo möglich einen Schritt weiter gegen die geheimnissvolle Grenze der subjectiven Empfindung zu wagen.

Es liegt in der Natur der behandelten transcendenten Gleichung keine allgemeine Discussion zu erlauben; darum müssen wir uns an eine inductive Entwickelung der Resultate halten, was zwar der Eleganz der Discussion, aber nicht der Richtigkeit der gewonnenen Ergebnisse Eintrag thun kann, denn es bedingt nicht die Allgemeinheit in der Form der Discussion die Stichhältigkeit ihrer Resultate.

Folgende Sätze gelten allgemein für alle binären Mischungen:

a) Die Wellenlängen am Beginne und Ablauf der grossen Periode haben einen mittleren Werth zwischen den Wellenlängen der beiden Componenten, und dieser Werth erstreckt sich auf um so mehr auf einander folgende Vibrationen, je näher im Spectrum die beiden Componenten liegen.

b) Die Länge der Periode nimmt stätig ab, je weiter im Spectrum die Componenten auseinanderrücken. Obschon nämlich die Perioden auch weit auseinanderliegender homogener Strahlen in unseren Tafeln oft eine beträchtliche Länge haben, so sieht man doch bei genauerer Betrachtung, dass dieselben sämmtlich wieder in rhythmische Unterabtheilungen zerfallen, die unter einander so wenig verschieden sind, dass sie gewiss für die Entstehung der Empfindung gleichbedeutend sind.

c) Von jenem mittleren unter *a)* erwähnten Werthe nähern sich die Wellenlängen gegen die Mitte der Periode (unter dieser weiteren Bezeichnung nun auch die in *b)* angegebenen Unterabtheilungen der grossen Periode verstanden) immer mehr der Wellenlänge jenes Strahles, dessen Amplitude in der Combination vorwiegt, und überschreiten den Werth dieser mit rasch zunehmenden Differenzen.

(So beginnt z. B. in der Combination Gelb-Grün die Periode mit Gelblichgrün, behauptet sich eine Strecke in dieser Region, indem sie aber gegen Gelb — dessen Amplitude in der Combination vorwiegt — fortschreitet, erreicht sie endlich die Wellenlänge des Gelb und schweift nun in raschen Sprüngen bis Roth hinauf — während in der Combination Gelb-Orange die Periode anfangs aus wenig verschiedenen orangelichgelben Tönen besteht, die allmählich in Gelb übergehen und sodann in schneller Abnahme bis ins Blaugrün hinab fortschreiten.)

d) Die Amplituden der einzelnen eine Periode constituirenden Vibrationen nehmen ab vom Anfange gegen die Mitte und ihre Ungleichförmigkeit wächst in dem Masse, als der Unterschied zwischen den Wellenlängen und Amplituden des Componenten zunimmt.

Man könnte nach unseren Tafeln die auf einander folgenden chromatischen Elemente, aus denen sich die Empfindung einer gemischten Farbe zusammensetzt, etwa in der Weise graphisch darstellen, dass man auf einer Abscissenlinie in gleichen Abständen Ordinaten von der Grösse der Amplituden aufträgt und den Zwischenraum zwischen 2 solchen Ordinaten mit der Farbe malt, welche der Wellenlänge, zu der diese Amplitude gehört, entspricht.

Aus *a, b* und *d* lässt sich der Begriff des homogenen Lichtes reconstruiren. Rücken nämlich die beiden Componenten im Spectrum einander unendlich nahe, so folgt aus *b*, dass die Länge der Periode ins Unendliche wächst; bei unendlichem Wachsthum der Periode muss nach *a* die Farbe, nach *d* die Amplitude ohne Ende der Gleichheit sich nähern, so dass wir für die Grenze — das homogene Licht, Gleichheit der Wellenlängen und Amplituden erhalten, was bekanntlich die Bedingungen der Homogenität sind [22]).

Aus *c* folgt, dass Wellenlängen in Combinationen von Strahlen ungleicher Amplituden vorkommen können, die weit über die Grenzen der im Spectrum vorkommenden Strahlen hinaus fallen.

Ich komme nun zur Untersuchung der einzelnen Farbenmischungen.

Betrachten wir zuerst die farblosesten, dem Weiss zunächst liegenden Mischtöne. Reines Weiss soll nach Helmholtz nur durch Indigo-Gelb zu erhalten sein; demnächst aber sind die fahlsten Töne Violett-Gelb (weisslich fleischfarben) und Blau-Gelb (schwach grünlich-weiss). Da die Componenten, die wir hier wegen der Vereinfachung der Berechnung gewählt, nicht genau die Helmholtz'schen sind (das Gelb Helmholtz's [23]) liegt in einem sehr schmalen Streifen zwischen *D* und *E*, etwa $1/4$ der Distanz von *D* entfernt, fällt also nahezu mit dem Orte der grössten Lichtintensität zusammen; sein Indigo erstreckt sich von der Mitte des Raumes *F G* bis gegen *G* hin; unser Indigo liegt eben an der oberen Grenze, würde also allenfalls noch stimmen; wogegen unser Gelb bedeutend gegen die grüne Grenze hin liegt und darum jedenfalls mit zu geringer Amplitude in die Mischung tritt), so darf auch hier auf die Combination Indigo-

Gelb kein besonderes Gewicht gelegt werden, es sei denn, man berücksichtige die, später deutlich nachzuweisende Mangelhaftigkeit der Fraunhofer'schen Zahlen. Stellen wir nun die diesen drei Mischungen entsprechenden Rhythmen zusammen, so finden wir:

Violett-Gelb.	Indigo-Gelb.	Blau-Gelb.
99 Gelblichgrün.	109 Schwachgrünlichgelb.	120 Grünlichgelb.
91 Gelb (unser Normaltn).	97 Gelb.	109 Gelb.
86 Gelb.	84 Orange-Gelb.	90 Gelblichorange.
91 Gelb (Helmholtzs Nmr.	80 Gelblichorange.	113 Röthlichorange.
Ton).	91 Schwachorangelich-	113 Röthlichorange.
99 Gelblichgrün.	gelb.	90 Gelblichorange.
99 Gelblichgrün.	105 Grünlichgelb.	109 Gelb.
91 Gelb.	101 Grünlichgelb.	120 Grünlichgelb.
86 Gelb.	105 Grünlichgelb.	120 Grünlichgelb.
91 Gelb.	91 Gelb.	109 Gelb.
99 Gelblichgrün.	80 Orange.	90 Gelblichorange.
99 Gelblichgrün.	84 Orangegelb.	113 Röthlichorange.
91 Gelb.	99 Gelb.	113 Röthlichorange.
86 Gelb.	109 Grünlichgelb.	109 Gelblichorange.
91 Gelb.	109 Grünlichgelb.	120 Gelb.
99 Gelblichgrün.	97 Gelb.	120 Grünlichgelb.
99 Gelblichgrün.	84 Orangegelb.	120 Grünlichgelb.
91 Gelb.	80 Orange.	109 Gelb.
86 Gelb.	91 Gelb.	90 Gelblichorange.
91 Gelb.	105 Grünlichgelb.	113 Röthlichorange.
99 Gelblichgrün.	101 Grünlichgelb.	113 Röthlichorange.
99 Gelblichgrün.	105 Grünlichgelb.	90 Gelblichorange.
91 Gelb.	91 Orangelichgelb.	109 Gelb.
86 Gelb.	80 Gelblichorange.	130 Grünlichgelb.
91 Gelb u. s. f.	84 Orangegelb.	130 Grünlichgelb u. s. f.
	90 Gelb.	
	109 Schwachgrünlichgelb.	

(Die Zahlen sind die Amplituden der Particular-Erregungen; die Klammern zeigen die einzelnen, in einer grossen Periode enthaltenen, bei der Farbenwirkung allein in Betracht kommenden Nebenperioden an.)

e) Die Empfindung des Weiss setzt sich also zusammen aus den rasch abwechselnden Eindrücken der mittleren Töne des Spectrums von Gelblichgrün bis Orange [24]).

Auf diese Weise ist der mässige Reiz des weissen Lichtes erklärlich; kranke Augen empfinden eine rothe Beleuchtung schmerzlicher als eine weisse, und selbst dem gesunden wird eine dauernde

rothe Empfindung viel eher ermüdend als die des farblosen Lichtes. Diejenigen, welche die Empfindung des Weiss aus den Empfindungen der einzelnen, durch Brechung darstellbaren Farben zusammensetzen, müssen, um die milde Wirkung weisser Beleuchtung zu erklären, eine heftige Erregung (roth, orange) durch das Hinzufügen einer Anzahl schwacher Reize (grün, blau, violett) temperiren, was in der That nicht leicht zu begreifen ist.

Untersuchen wir ferner die gewöhnlich als Complementärfarben bezeichneten Combinationen von Blau und Orange, Grün und Roth: die erste gibt nach Helmholtz einen fleischfarbenen, die letztere einen fahlgelben Ton.

Blau-Orange.	Grün-Roth.
91 Gelblichgrün.	87 Gelb.
77 Orange.	76 Gelb.
53 Roth.	57 Grünlichgelb.
44 (Purpur).	34 Grünlichblau.
66 Gelblichorange.	22 Violett.
77 Gelb.	31 Blau.
93 Gelb.	52 Gelblichgrün.
84 Gelb	72 Grünlichgelb.
63 Orange.	85 Gelb.
41 (Purpur).	88 Gelb.
58 Orangelichroth.	79 Gelb.
81 Gelb.	61 Grüngelb.
92 Gelb.	38 Schwachbläulichgrün.
89 Gelb.	23 Violett.
73 Orangegelb.	28 Indigo.
48 Roth.	48 Gelb.
48 Roth.	69 Grün.
73 Orangegelb.	83 Gelb.
89 Gelb.	88 Gelb.
02 Gelb.	81 Gelb.
81 Gelb.	65 Grünlichgelb.
58 Orangelichroth.	44 Grün.
41 (Purpur).	25 Schwachbläulichviolett.
63 Orange.	25 Schwachbläulichviolett.
84 Gelb.	44 Grün.
93 Gelb.	65 Grünlichgelb.
77 Gelb.	81 Gelb.
66 Gelblichorange.	88 Gelb.
44 (Purpur).	83 Gelb.

Blau-Orange.

35 Roth.
77 Orange.
91 Gelblichgrün.
91 Gelblichgrün.
77 Orange.
53 Roth.
44 (Purpur).
66 Gelblichorange.
77 Gelb.
93 Gelb.
84 Gelb.
63 Orange.
41 (Purpur).
58 Orangelichroth.
81 Gelb.
92 Gelb u. s. f.

Grün-Roth.

69 Grün.
48 Gelb.
28 Indigo.
23 Violett.
38 Schwachbläulichviolett.
61 Grüngelb.
79 Gelb.
88 Gelb.
85 Gelb.
72 Grünlichgelb.
52 Gelblichgrün.
31 Blau.
22 Violett.
34 Grünlichblau.
57 Grünlichgelb.
76 Gelb.
87 Gelb.
u. s. f. da capo.

Die gelben und grünlichen Elemente sind der Zahl und dem Gewichte nach vorherrschend, sie werden daher bei der raschen Abwechslung, in der sie aufeinander folgen, nach *e*) eine ganz fahle Mischung bedingen. Bei Grün und Roth wird dies um so gewisser eintreten, als die reizlosen blauen und violetten Elemente allein mit den gelblichen und grünlichen in den Kampf treten; bei Blau und Orange aber steht jedenfalls ein mehr röthlicher Ton zu erwarten, als nach Helmholtz's Beobachtungen stattfinden sollte. Wir werden unten zeigen, wie dies aufzuklären ist, und folgern aus den bisher betrachteten Combinationen, dass

f) *die fahlsten Mischtöne jene sind, in welchen die gelben und benachbarten Elemente vorherrschen.* Man sollte daher von einem beigemischten Weiss in der mathematischen Physik nicht sprechen, so brauchbar diese Ausdrucksweise auch für den Maler und Physiologen ist; man müsste folgerichtig in der Akustik von beigemischtem Geräusch reden, und eine fernher tönende Musik eine Mischung von Ton und Geräusch nennen; in der Logik von beigemischter Unbestimmtheit und müsste eine unvollkommene Begriffsbestimmung einen durch Unklarheit diluirten Gedanken definiren; es ist aber noch Niemanden eingefallen, so zu thun und am wenigsten diese Bestandtheile nach bestimmten

Verhältnissen zu messen. Jede Farbe ist für die Physik ein eigenthümlicher Bewegungszustand, die Empfindung der Farbe die Wahrnehmung dieser Bewegung; das Gesetz derselben kann einfacher und complicirter und die Empfindung dieser Bewegungszustände energischer, reiner und minder lebendig, verwischter sein; aber nach Verhältnissen messen lässt sich hier nichts und wo es geschieht, da ist es nur zu rechtfertigen, wenn man das weisse Licht aus bestimmten Quantitäten rother, gelber und blauer Strahlen bestehen lässt, wie es in der Emissionstheorie allenfalls möglich ist, was der Undulationstheorie aber gründlich widerstrebt. Es ist nicht unmöglich, dass man das Gewicht bestimmen lernt, mit welchem ein Element sich in der Totalempfindung geltend macht, wie ich an einem anderen Orte zeigen werde; aber darüber lässt sich noch bei weitem nicht mit Gewissheit entscheiden.

So lange die Componenten im Spectrum nicht sehr weit entlegen sind, entstehen Mischtöne, deren Ton nach der Erfahrung in der Mitte zwischen den homogenen Grundfarben liegt. In der That, sieht man unsere Tafeln an, so wird man finden, dass die herrschenden Elemente jedes Rhythmus die mittleren Töne sind; so hat man bei Violett und Indigo die vorherrschenden Particulartöne violettlichindigo; bei Violett und Blau, indigo und dunkelblau; bei Blau und Grün, bläulichgrün; bei Gelb und Grün, gelblichgrün u. s. f. Dies findet um so reiner Statt, je weniger zugleich die Amplituden der beiden Strahlen differiren (vergl. die Tafeln des zweiten Abschnittes). Da aber niemals ein Element allein vorherrscht, und die Maxima und Minima in den Rhythmen bei einigermassen entschieden verschieden gefärbten Componenten rasch auf einander folgen, so sehen wir

g) dass der Mischton zweier homogener Componenten von verschiedener Wellenlänge niemals gleich sein kann einem homogenen Tone des Spectrums, sondern stets minder gesättigt erscheinen muss, woraus dann weiter nothwendig hervorgeht, dass es nicht möglich ist aus Blau, Roth und Gelb, oder Violett, Grün und Roth, oder Roth, Gelb, Grün, Blau und Violett oder irgend einer anderen beliebigen Anzahl von Grundfarben die anderen Farben des Spectrums darzustellen, sondern dass

h) gar kein, einer homogenen Farbe identischer Farbenton durch Mischung erzeugt werden kann [25].

Hier liegt zugleich die Lösung des vielbesprochenen Problemes der Hauptfarben.

Man kann unter Hauptfarben entweder jene Farbentöne verstehen, deren Wellenlängen unter einander eine so beträchtliche Verschiedenheit haben, dass sie auch eine merklich verschiedene Empfindung erregen, oder aber jene, sogenannten einfachen, aus welchen sich durch Mischung alle anderen Farbentöne herstellen lassen. Hauptfarben der ersten Art sind die 7, oder, wenn man Indigo [26]) unter Blau begreift, 6 Newton'schen Farben im Spectrum und es muss immer als eine sehr bemerkenswerthe Thatsache anerkannt werden, dass das Auge aller Menschen (die Seebeck'schen Ausnahmen können diese Regel nicht erschüttern) eben nur auf jenen 7 Tönen ruhen bleibt, denn es ist an sich gar nicht einzusehen, warum es nicht eben so gut auf den Mitteltönen jener 7, oder irgend anderen merklich von einander entlegenen, als den charakteristischen Farben des Spectrums beruhen sollte; es ist dies eine physiologische Thatsache, über die man sich nicht Rechenschaft ablegen kann. Hauptfarben der zweiten Art sind alle die von den verschiedenen Physikern als einfache bezeichneten, wie sie im ersten Abschnitte aufgezählt sind. Man sieht ein, dass es nach dem letzten Satze im Spectrum nur einfache Farben geben könne, und dass ihre Zahl unbestimmt und unendlich gross sei. Es trägt auch die Beschaffenheit des Spectrums verschiedener Lichtquellen nicht wenig dazu bei, den bisherigen Begriff der einfachen Farben seiner Allgemeinheit zu entkleiden. So sehen wir, dass bei einer speciellen Beschaffenheit des Spectrums allerdings aus Grün und Violett Blau hergestellt werden kann, so wie man aber dem Violett eine geringere Amplitude gibt, so rücken die Elemente des resultirenden Strahles nach *c)* mehr gegen Gelb und der Mischton wird durch Hellblau und Hellgrün endlich entschieden in Grün übergehen, so wie er andererseits durch Dämpfung des Gelb durch Dunkelblau und Indigo ins Violett hinabrückt. Da aber nicht in allen Lichtquellen die Intensitäten auf einerlei Weise vertheilt sind, so werden homologe Theile der Spectra verschiedener Lichtquellen verschiedene Mischtöne liefern und man müsste jedenfalls für jeden selbstleuchtenden Körper ein eigenes System einfacher Farben bestimmen. Wollte man, um diesen Einwurf abzulehnen, einwenden, dass von Haupt- und einfachen Farben nur in Bezug aufs Sonnenspectrum die Rede sein könne, da erfahrungsmässig jede irdische Farbe nur Bestandtheile

dieses enthalte, indem die Körper- und Oberflächenfarben in der Regel nur im Sonnenlichte beurtheilt werden, so kann auch dies die Möglichkeit einer beschränkten Anzahl einfacher Farben nicht retten. Denn es entstehen die Körper- und Spectrumfarben dadurch, dass weisses Licht dispergirt wird, wobei dann das Auge jene Theile desselben wahrnimmt, deren Amplituden durch Absorption und andere Interferenzfälle nicht allzusehr verringert wurden; aber bei keinem Spectrum können wir behaupten, die Amplituden des aus dem Prisma austretenden Lichtes seien dieselben, oder nur in denselben Verhältnissen wie die des eintretenden. Das vollkommenste Glasprisma absorbirt bedeutend die Strahlen jenseits Violett; da aber die Wellenlängen des sichtbaren Spectrums stätig in die des unsichtbaren übergehen, so ist gar nicht einzusehen, dass nicht auch die Amplituden des Violett durch Absorption gelitten haben sollten: es geben auch in der That Quarzprismen ein stärkeres Violett als Glasprismen. So wie bei Violett, so ist bei allen Farben die Grösse der Absorption verschieden nach den verschiedenen zerstreuenden Substanzen, und es richten sich daher auch die Amplituden und Intensitäten nach diesen. Da aber, um durch Mischung dieselbe Farbe zu erhalten, das Verhältniss der Wellenlängen und Amplituden in den Componenten ungeändert bleiben muss, so sieht man ein, dass es wegen dieser Abhängigkeit von Lichtquelle und brechender Substanz nicht möglich ist irgend welche Farben als einfache vor den anderen herauszuheben [27]).

Es sind nun noch diejenigen Combinationen zu untersuchen, deren Componenten im Spectrum weit aus einander liegen: die Interferenz der violetten und dunkelblauen Strahlen mit den orangenen und rothen. Wir finden, dass die Rhythmen noch kürzer als bei den zuerst betrachteten Mischungen geworden sind, so dass sie zum Theil nur aus 2 Elementen bestehen; dabei nehmen aber die Unterschiede in den Amplituden ab, so dass die krumme Linie, welche wir erhalten, wenn wir die Amplituden der auf einander folgenden Vibrationen auf die oben erwähnte Weise als Ordinaten auftragen, geringere wenngleich zahlreichere Ausbuchtungen zeigen wird, als es bei den bisher betrachteten Combinationen der Fall war. Dabei nehmen die gelben Elemente an Zahl und Grösse ab; während in der Combination Blau-Roth selbst noch (sehr schwach) grünliche Töne vorkommen, nimmt die relative Grösse der gelben Elemente schon im Indigo-Orange, Indigo-Roth ab und die Combination Violett-Roth enthält fast gar kein gelb-

liches Element mehr: es werden daher die Mischtöne auch in demselben Verhältnisse lebendiger, entschiedener, farbiger werden. In den Combinationen mit Roth entstehen nun auch Wellen, deren Oscillationsdauer über die Grenzen hinaus fallen, innerhalb welcher die Farben des Sonnenspectrums noch sichtbar sind; und gerade diese sind es, die auf die farbige Constitution der Mischung den entschiedensten Einfluss üben müssen; man weiss, welch' ein schönes, einer homogenen Farbe an Lebhaftigkeit und Reinheit in nichts nachstehendes Scharlachroth die Interferenz von Roth mit Violett und Indigo liefert; es kann aber, wenn wir die Rhythmen derselben betrachten:

Violett-Roth.	Indigo-Roth.
42 Orange.	50 Gelb.
30 (Purpur).	32 (Purpur).
40 Orangelichroth.	32 (Purpur).
43 (Röthlichpurpur).	50 Gelb.
32 (Röthlichpurpur).	50 Gelb.
37 Roth.	32 (Purpur).
44 Gelblichorange.	32 (Purpur).
35 (Purpurlichroth).	50 Gelb.
35 (Purpurlichroth).	etc. da capo.
44 Gelblichorange.	
37 Roth.	
32 (Röthlichpurpur).	
43 (Röthlichpurpur).	
40 Orangelichroth.	
30 (Purpur).	
42 Orange.	
u. s. f. da capo.	

diese Intensität der Färbung nur auf Rechnung der eingeklammerten Töne kommen, von denen ich übrigens gar nicht behaupten will, dass sie wirklich so aussehen, wie ihre vorläufig gewählten Namen andeuten [28]). Es folgt hieraus, worauf wir schon zu wiederholten Malen aufmerksam gemacht haben

i) dass das Auge noch für Vibrationen empfindlich sei, deren Längen weit ausser der gewöhnlich angenommenen Grenze von 380 und 680 Milliontel Millimeter liegen; und als Bestätigung der im vorigen Paragraphen ausgesprochenen Ansicht über die Natur der Farben, dass

k) die chromatische Intensität (Lebhaftigkeit, Reiz) der Strahlen in dem Masse zunimmt, als die Wellen-

längen wachsen, also vom violetten gegen das rothe Ende hin.

Der erste dieser Sätze kann vielleicht der Schlüssel werden zur Erklärung manches physiologischen Phänomens. So dürfte das Abklingen der durch das Schauen in die Sonne erzeugten Blendungsbilder bei gut bedeckten Augen von dem Gesichtspunkte aus erklärlich sein, dass das Abklingen in einer Aufzehrung der durch die Äthervibrationen an die Netzhaut übertragenen lebendigen Kraft durch die Widerstände der Nervenelemente bestehe, oder mit anderen Worten, in einer Abnahme der erzeugten Lichtintensitäts-Empfindung, die gleichzeitig durch ein Verringern der Amplituden und Verlängern der Wellen bewirkt wird. Es ist wie ein elastisches Pendel, das im Verlaufe der Bewegung immer grössere und grössere Längen erhält, indess seine Ausschläge kleiner und kleiner werden. Die Farbenempfindungen, welche sich in dieser Erscheinung succediren, sind nach den vielfachen Beobachtungen Fechner's [29])

eine äusserst schnell schwindende, nur bei den heftigsten Erregungen sichtbare weisse Phase;

I. { lichtblau, zuweilen mit violettem Randschein,
lichtgrün, mit rothgelbem Rande, der bald in einen rothgelben Centralfleck übergeht;

II. { dunkelroth, lange dauernd;
dunkelblau (zuweilen erst lila);
schwarzgrün.

In der ersten Reihe ist die Lichterscheinung heller, in der zweiten dunkler als der Grund des Auges. Es wäre nun nicht undenkbar, dass die Farben der ersten Reihe durch eine Zunahme der Wellenlänge (Pendellänge) der schwingenden Nervenelemente bis an die obere Grenze des Spectrums entstünden, die der zweiten aber durch ein noch weiteres Wachsen der Oscillationsintervalle bis zu einer Grenze, die durch die Länge und Elasticität der schwingenden Fäden selbst gesetzt ist; die Abnahme ist am raschesten anfangs, wird aber um so langsamer je mehr die Bewegung der erregten Theile gegen den Zustand der Ruhe hin convergirt, so dass die Endphasen lichtschwächer aber zugleich dauernder werden.

Der zweite Satz *k*) macht es uns möglich einige Thatsachen aufzuklären, die auf eine andere Weise kaum verständlich wären. So die scheinbare Lichtstärke der rothen Farben. Niemand hat bisher

scharf unterschieden zwischen Leuchtkraft und Lebhaftigkeit, zwischen photometrischer und chromatischer Intensität der Farben und doch schliesst die eine die andere fast aus, wenigstens bei gleichen Amplituden. So haben wir in der Combination Grün-Roth zwischen den blauen und gelbgrünen Elementen fast dasselbe Verhältniss wie in der Combination Blau-Roth zwischen den rothen und gelbgrünen Elementen, und doch ist das Resultat jener nur ein höchst fahler Ton, während hier die Empfindung eines schönen Rosenroth erzeugt wird. Das Auge aber kann die beiden Momente des Lichtreizes (Helligkeit, Leuchtkraft) und Farbenreizes (Lebhaftigkeit, Energie der Färbung) nicht scheiden, und es wird daher die rothen Töne für heller, die blauen für lichtarmer halten als es beide sind. Darin liegt der Mangel der Fraunhofer'schen Intensitätsmessungen, und es fällt nicht schwer zu zeigen, wie sehr seine Resultate von den wirklichen Verhältnissen in der Natur abweichen; unsere Tafeln reichen dazu völlig aus, wir brauchen nur die Combinationen des Violett, Indigo und Blau mit den übrigen Farben durchzugehen und mit den Helmholtz'schen Resultaten zu vergleichen. Wir setzen dabei als zugegeben woraus, dass, wenn wir auch nicht genau wissen, wie aus der Particularerregung sich die Totalempfindung einer Mischfarbe zusammensetzt, der resultirende Ton gewiss an Farbenkraft und Lichtstärke nicht die energischsten Elementartöne übertreffen, sondern höchstens in ihrer Nähe kommen werde.

Übergehen wir die Combination Violett-Indigo wegen der grossen Ähnlichkeit der Componenten, so finden wir schon, dass nach unseren Tafeln Violett-Blau einen Mischton geben werde, der ungefähr der unteren Hälfte des Blau entspricht, während nach Helmholtz derselbe an die Grenze von Indigo fällt; es ist somit nach den obigen Sätzen die Amplitude und folglich auch die Leuchtkraft des Violett grösser als sie Fraunhofer gefunden.

Violett-Grün gibt nach unseren Tafeln ein entschiedenes bläulichgrün, nach Helmholtz hellblau; die Amplitude und folglich auch die Leuchtkraft des Violett ist daher (mit der des Grün verglichen) um ein gutes grösser als Fraunhofer angibt.

Violett - Gelb u. s. f. lassen keine sicheren Schlüsse zu; dagegen

Indigo-Blau gibt nach unseren Tafeln ein Blau, das nicht so tief ist, als wie es Helmholtz gefunden; es ist daher die Amplitude und

folglich auch die Leuchtkraft des Indigo (mit der des Blau verglichen) grösser als es Fraunhofer angibt.

Indigo-Grün gibt nach unseren Tafeln ein ähnliches Grün wie die Combination Violett-Grün, nach Helmholtz hellblau; es ist daher die Amplitude und Leuchtkraft des Indigo (mit der des Grün verglichen) grösser als es Fraunhofer gefunden.

Indigo-Gelb gibt nach unseren Tafeln einen schwach orangelichen Ton, während er nach Helmholtz rein weiss ist; da aber unsere Componenten nicht die Helmholtz'schen sind, und der resultirende Ton bei der Annahme dieser noch mehr in Roth gezogen würde, so ist die Amplitude und Leuchtkraft des Indigo (verglichen mit der des Gelb) gewiss viel grösser als es Fraunhofer gefunden.

Indigo - Orange etc. lassen keine sichere Schlüsse zu. Dagegen

Blau-Grün gibt nach unseren Tafeln ein entschiedenes Grün, nach Helmholtz grünblau; folglich ist die Amplitude und Leuchtkraft des Blau (im Vergleiche zu der des Grün) gewiss grösser als es Fraunhofer gefunden.

Blau-Gelb lässt keinen sicheren Schluss zu.

Blau-Orange ist nach unsern Tafeln ein bleicher Purpur oder ein bleiches Roth, nach Helmholtz fleischfarben; es ist also die Amplitude und Lichtstärke des Blau (verglichen mit der des Orange) grösser als es Fraunhofer gefunden.

Blau-Roth lässt nach unseren Tafeln noch keine genaue Bezeichnung des resultirenden Tones zu, da noch zu erforschen ist, was für eine Farbenempfindung mit so hohen Wellenlängen verbunden ist, wie sie in dieser Interferenz vorkommen; jedenfalls aber ist der Ton um vieles höher gerückt, als er nach Helmholtz sein sollte, so dass auch hier nachgewiesen ist wie Fraunhofer die Leuchtkraft des Blau zu niedrig angegeben hat.

Aus all' diesem folgt nun

1) dass die Leuchtkraft im Spectrum am blauen Ende viel stärker ist als es die Fraunhofer'schen Messungen angeben.

Dieser, aus unseren theoretischen Betrachtungen durch Vergleich mit genauen Beobachtungen abgeleitete Satz erlaubt nun eine sehr einfache Erklärung der oben mitgetheilten, von Dove und mir gemachten Erfahrung. Wenn nämlich die Amplituden des Blau im

Spectrum nahezu gleich oder gleich denen des Roth angenommen werden (und dass man dies muss, lässt sich kaum mehr bezweifeln), so wird die Leuchtkraft des Blau stärker, wenn auch der Farbenreiz des Roth beträchtlich überwiegend bleibt, und daher auch die Lichtstärke der letzteren Farbe scheinbar prävaliren macht. Dann wird aber bei allmählicher Abnahme der Gesammtbeleuchtung das Roth früher die Grenze der zur Sichtbarkeit nothwendigen Intensität erreichen, und das Blau vermöge seiner kürzeren Wellen noch durch einige Zeit deutlich sichtbar bleiben, wo kein Roth mehr wahrgenommen werden kann.

So erklärt sich auch eine Beobachtung Pouillets, der eine interessante Reihe von Versuchen über das Beleuchtungsvermögen verschiedengefärbter Substanzen angestellt[30]), in der er das Verhältniss der zerstreuten Lichter bestimmte, die fähig sind der Wirkung der direct gespiegelten Beleuchtung an Daguerre'schen Bildern das Gleichgewicht zu halten. Er fand, dass das glänzendste Roth eines Wollen- oder Baumwollenstoffes ein geringeres Beleuchtungsvermögen besitzt als ein sehr dunkles Blau, welches wieder ein etwas schwächeres Beleuchtungsvermögen hat als Grau, das doch nur ein helleres Schwarz sei.

Der Versuch Fechners mit der Farbenspirale entscheidet nicht für die grössere Lichtstärke des Roth, denn indem das Auge zwei gefärbte Flächen gleichzeitig betrachtet, addirt es im Vergleichen unwillkürlich und nothwendig Lichtstärke und Farbenreiz, und kann daher aus diesem Versuche keinerlei Schluss über das gezogen werden, was wir hier Leuchtkraft nennen.

Es wäre daher sehr zu wünschen, dass die Messungen über die Leuchtkraft der einzelnen Farben nach einer anderen Methode wiederholt würden, bei welcher mit möglichster Strenge die hier erwähnte Fehlerquelle vermieden würde; dies geschähe, wenn man nicht die Farbe selbst mit irgend einer beleuchteten Fläche vergliche, sondern etwas, das reine Function der Lichtstärke ist, der Messung unterzöge und auf die Lichtstärke zurückschlösse. Etwa durch eine Bestimmung der unter dem Mikroskope bei verschiedenfarbiger Beleuchtung noch wahrnehmbaren Theilstriche einer Scale, die verschieden tief- und scharfgeritzt sind, oder dergleichen. Auch die Hassenfratz'schen Beobachtungen über die Absorption des Sonnenlichtes bei zunehmender Dämmerung bedürfen einer Revision.

§. 7. Da die Brewster'sche Theorie über die Zusammensetzung des Spectrums auf zahlreiche Thatsachen sich gründet, so kann sie auch nur so widerlegt werden, dass man zeigt, wie diese Thatsachen zu erklären seien ohne Zuhilfenahme einer eigenen Theorie und wie die Folgerungen, die aus diesen Thatsachen gewonnen werden, nicht mit der nothwendigen Consequenz sich denselben anschliessen; beides ist geschehen [31]) und wenn ich zum Schlusse auf diese Theorie zurückkomme, so geschieht es nur um meine eigene, dem Vorigen zu Grunde gelegte Ansicht über die Art der Farbenwirkung noch indirect zu rechtfertigen.

Brewster's Anschauungsweise ist identisch mit der Mayer's, Wollaston's und Young's, wenn man sie näher analysirt. Wenn die letzteren das Spectrum aus 3 oder 4 homogenen Farbenstreifen bestehen lassen, so gestehen sie zu, dass alle Mitteltöne durch Übereinanderfallen der Grenzen dieser Streifen entstehen müssen und in sofern spricht Brewster nur in bestimmter aber allgemeiner Weise aus, was jene mehr oder weniger deutlich als selbstverständlich supponiren. Wenn er dagegen die Farben an allen Orten des Spectrums aus drei Elementen zusammensetzt, so muss er nothwendig die Young'sche Erklärung der dreifach specifischen Farbenempfindung adoptiren. Denn, dass die Farben durch Schwingungen der Netzhaut dem Bewusstsein übermittelt werden, ist eine Ansicht, die der Emission so wenig wie der Theorie der Undulation fremd ist; hat ja selbst Newton am Schlusse seiner Optik die Fragen gestellt:

Ob nicht die Lichtstrahlen auf der Netzhaut gewisse Schwingungen erregen, die längs der soliden Fasern des Sehnerven nach dem Gehirn zu verpflanzt werden, und daselbst die Empfindung des Sehens hervorbringen? Ob nicht die Strahlen von verschiedener Art Schwingungen verschiedener Art erregen, so wie verschiedener Schwingungen der Luft die Ursache der Töne sind, und ob nicht die am meisten brechbaren Strahlen die längsten Schwingungen hervorbringen? Ob nicht die Harmonie oder Disharmonie von dem Verhältnisse dieser Farbe abhängt? [32])

Gibt man aber zu, dass die Farbenempfindung blos durch die Schwingungen, in welche die Nerven versetzt werden, erregt wird, so kann man in dieser Erregung keine anderen Elemente betrachten, als die Dauer einer Vibration (Schwingungsdauer, Wellenlänge) und die Weite des Ausschlages (Amplitude); da aber nach Brewster

weder das eine noch das andere, noch beide zusammen zur Bestimmung der Farbe ausreichen, so sieht man, dass die theoretische Möglichkeit, trotzdem verschiedene Farben zu sehen, nur dadurch noch gerettet werden kann, dass man annimmt, für jede der 3 Farbenelemente sei ein eigener die Empfindung vermittelnder Apparat da; so wird man umgekehrt durch die Brewster'sche Theorie wieder auf die Young'sche zurückgeführt, die eben dreierlei solche Nervenelemente — entsprechend den 3 einfachen Farben — anzunehmen geneigt ist [33].

Diese Hypothese, die die heutige Undulationstheorie an ihrer Grundlage angriffe, wäre einzig nur dann zu rechtfertigen, wenn es irgend eine Nöthigung gäbe, die einfachere von einerlei Nervenelementen und die von der Brechbarkeit abhängigen Farben aufzugeben; aber dieser bequemt sich Alles und selbst die gemischten Farben finden, wie ich glaube gezeigt zu haben, durch sie eine genügende Aufklärung. Wollte man nun nicht zugeben, dass die Empfindung der Mischfarben in der Weise erregt werde, wie es in dieser Abhandlung angenommen wurde, so müsste man der Young'schen Hypothese folgen, und diese ist, abgesehen von ihrer inneren Unwahrscheinlichkeit, durch die Widerlegung der Brewster'schen auch selbst widerlegt.

Manches lässt sich noch aus unseren Tafeln folgern, was ich hier nicht berührt habe; doch ich schliesse für jetzt und ergreife nur noch die Gelegenheit, meinen wärmsten Dank dem Hrn. Regierungsrath v. Ettingshausen und Professor Schrötter auszusprechen, die es mir wiederholt erlaubten, meine Gedanken über diesen Gegenstand vor, ihnen zu entwickeln und durch zahlreiche Bemerkungen es mir erleichterten zur klaren Einsicht der hier vorgetragenen Sätze zu gelangen.

Nachdem der gegenwärtige Aufsatz bereits zum Druck befördert war, wurde mir von Seiten einer berühmten Autorität ein Einwurf bekannt, welcher meine Arbeit in ihrer Grundlage vernichten müsste, falls er unabweisbar wäre. Ich wurde nämlich aufmerksam gemacht, dass es einen Fall gebe, wo die Empfindung einer gemischten Farbe entstehe, und welcher alle Interferenz als unmöglich ausschliesst. Sieht man nämlich unter den gehörigen Vorsichten mit den 2 Augen

durch verschiedenfarbige Gläser, so erhält man nicht die Empfindung der einzelnen Farben, sondern die ihrer Resultirenden; so geben rothe und gelbe Gläser ein gleichförmig oraniengelbes, rothe und blaue ein gleichförmig violettes Gesichtsfeld etc. Hierzu erlaube ich nun folgende Bemerkung zu machen:

1. Ich habe in meinem Aufsatze wesentlich Alles ausgeschieden, was muthmasslich seine Entstehung, weniger der unmittelbaren Erregung von aussen als einer Reaction des Organes verdankt, d. i. alle subjectiven Erscheinungen. Nun ist aber das Phänomen, das hier angeführt wird, kaum unter die Kategorie der von mir ausschliesslich betrachteten Erscheinung zu zählen.

2. Sollte auch dies nicht zugegeben werden, so kann ich doch in der ganzen Erscheinung nichts als einen Interferenzfall sehen.

Kommt nämlich eine Erregung nicht bereits im Nerven zum Bewusstsein, leitet derselbe vielmehr jene in ein tiefer liegendes Organ, das Gehirn, wo diese Übermittelung des Objects an das Subject geschieht, so kann diese doch nur in einer Weise stattfinden, die wir entweder als Strömung oder als Schwingung ansprechen; es scheint nicht im geringsten unwahrscheinlich, dass das von einer Lichtwelle getroffene Element des Sehnerven eine Erschütterung ins Innere fortpflanzt: es kann ja in der That durch eine Erschütterung die Empfindung des Lichtes pathologisch erregt werden. Ist nun der Sehnerv Leiter einer schwingenden Bewegung, so liegt es auf der Hand, dass bei der Durchkreuzung und völligen Durchwachsung bis in die feinsten Fäden, der beiden optischen Nerven im Chiasma eine Mittheilung der Bewegung des einen an den andern stattfinden müsse (ich erinnere an das Wahrnehmen eines Lichteindruckes in beiden Augen, während nur das eine der Lichtquelle geöffnet ist), d. i. eine völlige Interferenz. Wäre die Thatsache selbst isolirt, so könnte diese Anschauungsweise doch nicht unbedingt verworfen werden, denn eben weil man gar nichts weiss von dem, was jenseits der Retina im Nerven vor sich geht, so ist kein Grund vorhanden, eine Hypothese, die sich natürlich an die übrigen Thatsachen schliesst, zu verwerfen. So aber erscheint es, als ob unsere Theorie im Vereine mit der erwähnten Thatsache vielmehr dazu dienen könne über das, was im Nerven selbst und bei der Durchkreuzung desselben geschieht, einiges Licht zu verbreiten.

Anmerkungen.

[1]) „Die Malerei fordert eine simultane Harmonie, die Musik eine successive." Goethe. Vergleiche auch *De Mairan* in den *Mém. de l'académie royale* 1737, p. 61. Dove erklärt die Empfindung der gemischten Farben analog der Wahrnehmung mehrerer gleichzeitiger Töne (Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853). Das Folgende mag entscheiden, in wie ferne wir berechtigt waren von der Ansicht des berühmten Physikers abzuweichen.

[2]) Die Distanzen sind gewiss geringer als $^1/_{200}$ einer Lichtwellenlänge. *Cauchy. exerc. de math. phys.*, p. 292.

[3]) C'est en supposant les sommes aux différences finies transformées en intégrales aux différences infiniment petites que j'ai pu déduire de la théorie la propriété que l'éther isolé paraît offrir de transmettre avec la même vîtesse de propogation les rayons diversement colorés. La possibilité d'une semblable transformation résulte de la loi de répulsion que j'ai indiquée et du rapprochement, comme on ne peut supposer la distance de deux molécules voisines réduite absolument à zéro il est naturel de penser que, dans le vide, la dispersion n'est pas non plus rigoureusement nulle, qu'elle est seulement assez petite pour avoir jusqu'à ce jour échappé aux observateurs. S' il y avait possibilité de la mesurer, ce serait par exemple à l'aide d'observations faites sur les étoiles périodiques, particulièrement sur celles qui paraissent et disparaissent et sur les étoiles temporaires. En effet dans l'hypothèse de la dispersion, les rayons colorés qui en partant d'une étoile, suivent la même route, se propageraient avec des vîtesses inégales et par suite des vibrations, excitées au même instant dans le voisinage de l'étoile pourraient parvenir à notre oeil à des époques séparées entre elles par des intervalles de temps d' autant plus considérables que l'étoile serait plus éloignée. Anisi dans l'hypothèse dont il s'agit, la clarté d'une étoile venant à varier dans un temps peu considerable, cette variation devrait à des distances suffisamment grandes, occasionner un changement de couleur qui aurait lieu dans un sens ou dans un autre, suivant que l'étoile deviendrait plus ou moins brillante une même partie du spectre devant s'ajouter, dans le premier cas, à la lumière propre de l'étoile dont elle devrait être construite au soustraire dans le second cas. It était donc important d'examiner sous ce point de vue les étoiles périodiques et en particulier Algol qui passe dans un temps assez court de la seconde grandeur à la quatrième: c'est ce qu'à fait M. Arago dans le but que nous venons d'indiquer. Mais les observations qu'il a entreprises sur Algol comme celles qui avaient pour objet l'ombre portée sur Jupiter par les satellites, n'ont laissé apercevoir aucune trace de la dispersion des couleurs. Cauchy, mémoire sur les deux éspèces d'ondes planes qui peuvent se propager dans un système isotrope des points matériels. Exerc. de math. phys., p. 291. Auf den Mangel aller Dispersion im Raume — wenigstens soweit sich dieselbe in der Distanz vom Jupiter bis zu uns kundgeben musste — schloss schon Musschenbroeck Introd. etc. §. 1813, wegen des farblosen Verlöschens der beschatteten Jupitersmonde. Dass übrigens die Dispersion selbst auf unendlich weiteren Räumen noch unwahrnehmbar sei, beweist die Gleichheit der Aberrations-Konstante für alle Fixsterne, die weissen so gut als die blauen, gelben, rothen und grünen. Vergl. Dove, a. a. O.

[4]) Es scheint, dass über den numerischen Betrag der atmosphärischen Dispersion nichts bekannt gemacht worden ist. Alles was ich hierüber gefunden habe, beschränkt sich auf ein Paar kurze Notizen in den *Annales de ph. chim.* I, pag. 5; *Comptes rendues* 1836, II, pag. 459; Pogg. Ann. XXXIX, p. 224; aus denen hervorgeht, dass sich mit der Nachweisung und Messung der Lichtzerstreuung in den Gasen bereits Bouguer (1748), Lemonier (1761), Dollond (1779), Herschel (1783, 1785, 1805), Lindenau (1812), Stephan Lee (1815) und endlich Arago beschäftigten, dass aber niemals ein genaues numerisches Detail veröffentlicht wurde, obschon besonders Arago ein solches ausdrücklich versprach. Vielleicht dass dasselbe jetzt in seinen nachgelassenen Werken mitgetheilt werden wird, wenn es überhaupt noch erhalten ist.

[5]) Aesthetik oder Wissenschaft des Schönen. 2. Bd., §. 250, 251.

[6]) Poggendorff's Annalen, LXXXIX, p. 70.

[7]) Dove (Darstellung der Farbenlehre etc.) gebraucht Ton noch in einer anderen Bedeutung, indem er ihn mit „Klang"parallelisirt.

[8]) Poggendorff's Annalen LXXXV, 397.

[9]) Poggendorff's Annalen XL, 222.

[10]) Ann. ph. chim. LXVI, 60.

[11]) Poggendorff's Annalen Ergänzungsband IV, p. 323.

[12]) Zwei neuere Abhandlungen aus dem Gebiete der Optik von Christ. Doppler, Prag 1848.

[13]) Zur Theorie der Farbenmischungen, Poggendorff's Annalen LXXXIX, 69 ff.

[14]) Fieri quoque potest, ut colores compositione producantur, qui nullis homogenei luminis coloribus prorsus similes sunt futuri. Opt. lib. I, pars II, prop. IV, theor. III.

[15]) I could never yet by mixing only two primary colours produce a perfect white. Whether it may be compounded of a mixture of three taken at equal distances in the circumference, I do not know; but of four or fife I do not much question but it may. But there are curiosities of little or no moment to the understanding of the phenomena of nature. For in all whites produced by nature there uses to be a mixture of all sorts of rays and by consequence a composition of all colours. Optics, pag. 136 (I, II, prop. VI) edit. 1730.

[16]) Traité de physique, III, 450.

[17]) Poggendorff's Annalen, LXXXVII.

[18]) Vergleiche Note 55 des ersten Abschnittes.

[19]) Vischer (Ästhetik II, §. 247) macht darauf aufmerksam, dass die Lichtwellentheorie für die ästhetische Auslegung noch gar keinen Anhaltspunkt gegeben. Man wird finden, dass die oben versuchte Erklärung mit den Thatsachen nicht im Widerspruche stehe, selbst wenn man zugeben muss, was pag. 44 gesagt wird: „Völker und Einzelne lieben die Farben nach ihrem eigenen Temperamente, nach ihrem Ergänzungsgefühl, und man muss daher ihren Geschmack mit ihrem eigenen Wesen, der Färbung der Haut, ihrem Himmel, ihrem Temperamente u. s. w. zusammennehmen. Jetzt freilich ist bei uns gebildeten Völkern der Farbensinn ganz erstorben, jede volle Farbe wird verachtet, nur die schmutzige, der aufgelöste Koth gefällt etc." Denn das Organ nimmt Theil an der ganzen leiblichen und geistigen Beschaffenheit des Individuums: so muss der verschiedenen Reizbarkeit für Farbeneindrücke verschiedener Menschen und Völker eine Verschiedenheit in der Organisation der Netzhaut entsprechen, in welchem Falle die hier entwickelte Ansicht eher als irgend eine andere Aufklärung gibt.

[20]) Hipparch in Plutarch's „Über die Meinungen der Philosophen". IV, 13. Auch Plato, ebenda, und Timaeus.

Über die ästhetische Bedeutung der Farben, vergleiche: Goethe, Farbenlehre Seite 758 ff.; Oersted, Naturlehre des Schönen. Ins Deutsche übersetzt von Zeiher, Seite 43 ff.; Vischer, Ästhetik, Seite 249 ff.; Chevreuil, *Sur la loi du contraste simultané des Couleurs.* (Ich kenne dieses Werk nur aus Citaten, da ich es nicht in die Hand bekommen konnte trotz eifrigstem Suchen; es ist desshalb auch in der historischen Einleitung keine Rücksicht auf seine Farbennomenklatur genommen, da die kurze Notiz in dem Compt. rend. XXXII, pag. 693, nicht hinreicht um darüber zu belehren.)

21) Plateau findet (Poggendorff's Annalen XX), dass die Dauer der Eindrücke in Sexagesimalsecunden bei gewöhnlicher Beleuchtung folgende ist:

Weiss	Gelb	Roth	Blau
0"35	0"35	0"34	0"32

während die Geschwindigkeit der Abnahme dieser Farbenempfindungen sich umgekehrt verhält wie die Zahlen:

Weiss	Gelb	Roth	Blau
191	199	238	295

was mit unserer Anschauungsweise übereinstimmt, da die lebhaftesten Eindrücke nothwendig am raschesten abnehmen, wenn sie auch am längsten brauchen um ganz zu verschwinden. Plateau macht hier auch (p. 326) eine Bemerkung, die ich nicht unterlassen kann mitzutheilen, da sie bei scheinbarem Widerspruche wirklich in wahrer Übereinstimmung mit den im Texte entwickelten Ansichten steht: „Die Stelle, welche das Roth hier einnimmt, stimmt nicht mit der allgemein angenommenen Meinung, dass diese Farbe am meisten angreife; allein es bedarf, wie mir scheint, nur der Bemerkung, dass man die Ermüdung des Auges nicht nothwendig als abhängig von der Stärke der Empfindung betrachten dürfe: sind doch die stärksten Töne nicht immer die, welche das Ohr am meisten angreifen". Neuester Zeit hat Emsmann (Poggendorff's Annalen XC, 611—619) die Plateau'schen Messungen mit grosser Genauigkeit wiederholt und gefunden:

Bei Tage:

Dunkelblau	Gelb	Mittelgrün	Dunkelgrün	Weiss	Roth	Mittelblau
0"29	0"27	0"26	0"26	0"25	0"24	0"22

Bei Lampenlichte:

Dunkelblau	Dunkelgrün	Gelb	Weiss	Roth	Mittelgrün	Mittelblau
0"35	0"35	0"31	0"30	0"29	0"26	0"26

woraus er die Reihenfolge der Dauer der Eindrücke abweichend von Plateau (welcher zwischen Weiss und Gelb nicht unterscheiden konnte, da beide gleiche Zahlen geben):

Gelb, Weiss, Roth, Blau

findet. Ich werde unten zeigen, wie dies aus der Zusammensetzung eines gewissen Weiss zu folgern wäre. Es wäre nur zu wünschen gewesen, dass Emsmann auch die Einzelwerthe gegeben hätte, aus denen diese Mittelzahlen gewonnen wurden. Wenn Emsmann bezüglich der bei Lampenlichte gleichen Dauer der Eindrücke der blauen und grünen Töne bemerkt, dass hieraus der Umstand zu erklären sei, dass bei dieser Beleuchtung diese Farben nicht zu unterscheiden seien, so dürfte es richtiger sein diese Erklärung umzukehren; diese Farben zeigen nämlich gleiche Dauer, weil sie in der That bei der Beleuchtung durch eine Flamme, in welcher wenig blaue Strahlen enthalten sind, einander ähnlich werden müssen, d. i. von den auf sie einfallenden Strahlen gleiche Theile reflectiren; sie werden dadurch gleich, und können somit keine verschieden dauernde Empfindung mehr erregen.

[22]) Eine theoretische Untersuchung muss die Begriffe scharf fassen. Ich kann daher die Begriffsbestimmung Dove's (die Farbe eines leuchtenden Körpers heisst homogen oder rein, wenn ihre Beleuchtung alle nicht leuchtenden Körper nur Abwechslung von grösserer oder geringerer Helligkeit zeigen, ohne den Unterschied, den wir als Farbendifferenz ansprechen), welche für den beobachtenden Physiker und Physiologen vollkommen ausreicht, nicht annehmen, da die Empfindlichkeit des Auges sehr geringe Differenzen in den Wellenlängen nicht mehr verräth und folglich für meine Betrachtung manches Licht nicht mehr homogen ist, das nach dieser Definition alle Ansprüche hat als rein und homogen zu gelten.

[23]) Poggendorff's Annalen LXXXVII, pag. 55, 56.

[24]) Dies stimmt auffallend mit einer Bemerkung Prévost's: „*La blancheur n'est qu'une sensation relative, c'est toujours celle, que fait naître la lumière dominante;*" denn da in jedem von uns weiss genannten Lichte die gelben Empfindungen vorherrsehen, so erklärt sich somit die Verwandtschaft des Weiss und Gelb in der gleichen Dauer der Eindrücke, der gleichen milden Wirkung, und die Vermuthung Newton's, dass im weissen Sonnenlichte ein gelblicher Ton liege, wird nun unter einer andern Gestalt zur Gewissheit: wir nennen eben dies abgefahlte Gelb, Weiss und Weiss tritt dadurch strenge genommen ebenso gut in die Reihe der Farben, wie Braun, Scharlach und jeder andere im Spectrum nicht vorhandene Mischton. Dass übrigens bei der Empfindung von Weiss die Annahme unstatthaft sei, dass die sämmtlichen Farben des Spectrums gleichzeitig ihre eigenthümlichen Eindrücke hervorrufen, bemerkt schon Fechner; „denn", sagt er (Poggendorff's Annalen, LI: Über die subjectiven Nach- und Nebenbilder, pag. 203), „die Thatsache, dass sich die Complementarwirkung des auf schwarzem Grunde angeschauten Weiss dadurch geltend macht, dass sich das Weiss immer mehr verdunkelt und mit einer Art dunklem Schleier überzieht, scheint zu beweisen, dass durch Anschauung einer Farbe die Empfindlichkeit für die complementäre nicht positiv vermehrt wird, denn sonst könnte das Weiss während der Betrachtung an Helligkeit weder gewinnen noch verlieren. Denn wenn z. B. die Empfindlichkeit für das in Weiss enthaltene Roth, vermöge seiner directen Betrachtung, abnähme, so müsste sie zugleich für das Grün zunehmen und umgekehrt, mithin beide Einflüsse, wenigstens unter Voraussetzung der Gleichheit ihrer Stärke, sich für alle Farben compensiren". Man sieht, in welche Widersprüche man verwickelt wird, wenn man den Act der Zerstreuung des weissen Lichtes durch brechende Medien *tout bonnement* umkehrt, um die Empfindung des Weiss zu erklären. — Was die objective Erscheinung betrifft, und das Verhältniss des Weiss zu Grau und Schwarz, so lässt sich beweisen, dass das Weiss der undurchsichtigen Körper nur eine Wahrnehmung der Oberfläche, das Grau, so wie jede vom Weiss differente Farbenempfindung dagegen die vereinigte Wahrnehmung von Oberfläche und Materie, das Schwarz aber die der Materie bei mangelnder Oberfläche sei. Vollkommen durchsichtige oder spiegelnde Körper sind, so lange ihre Begrenzung nicht wahrgenommen wird, vollkommen unsichtbar; z. B. Luft, Glas, Kalkspath, Eisspath, Wasser, Eis, die Krystallinse, die Zellwand; denn da eine einzige Oberfläche vor dem Auge zu stehen scheint, zur Erkenntniss der Körperlichkeit aber vor Allem die der Oberfläche gehört, so nehmen wir gar nichts wahr. „Tritt zur Durchsichtigkeit noch Glanz und Spiegelung in so vollkommenem Grade hinzu wie im Wasser und im menschlichen Auge, so wird man sich nicht wundern, wenn ein sinnvoller Zuschauer, durchdrungen von der Schönheit der Lichtwirkungen im

Wasser, ausruft, es sehe aus wie Geist, und wenn das Auge, dieser durchsichtige, glänzende, spiegelnde Lichtkörper, als der reinste Ausdruck der geistigen Tiefe im Menschen erscheint". (Vischer, a. a. O., p. 33.) Neigt man zwei vollkommen farblose und polirte Glasplatten gegen einander und sieht durch oder lässt sie spiegeln, so verräth die Verschiedenheit der durchgegangenen oder reflectirten Lichtmenge die zwei Oberflächen; vermehrt sich die Anzahl der gebrochenen Flächen bis ins Unendliche auf einem beschränkten Raume, so dass das Auge nicht mehr die verschiedenen Begrenzungen derselben, sondern nur die mannigfachsten Beleuchtungszustände auf einmal überschaut, so erhält man das Weiss der Pulver und undurchsichtigen, aus mikroskopischen Bruchstücken vollkommen durchsichtiger Körper bestehenden Substanzen, also Schnee, Caolin, Glaspulver, Kreide, Papier, Leinwand (von der vielfachen Dispersion und Wiederzusammensetzung des weissen Lichtes kann abstrahirt werden, da dies an dem eigentlichen Vorgange, wie er hier betrachtet wird, nichts ändert, und zur Bildung des Totaleindruckes eben nur in so ferne etwas beiträgt, als es durch die Mannigfaltigkeit der Oberflächen bedingt wird); darum werden weisse Körper vollkommen durchsichtig, wenn sie in eine Flüssigkeit von gleicher Brechkraft getaucht werden: an die Stelle der unzähligen Oberflächen tritt eine einzige (Oberfläche im optischen Sinne ist die Grenze zweier verschieden brechender Mittel) und wenn sonst vollkommene Durchsichtigkeit stattfindet und ein hinreichend grosser Theil des Gesichtsfeldes gedacht wird, so wird Alles unsichtbar. Es ist daher das Weiss der undurchsichtigen Körper die Wahrnehmung gebrochener Oberflächen. Wird nun ein Theil des farblosen Lichtes von einem Körper durchgelassen oder reflectirt, doch so, dass alle Bestandtheile gleichförmig vermindert werden, so entstehen schattige Zustände, und wir nennen die Lichterscheinung düster wo wir keine, grau wo wir Oberflächen wahrnehmen; es gesellt sich also hier zur Wahrnehmung der Oberflächen noch die der inneren, körperlichen Textur. Ob man nun weisse Pulver mit schwarzen mengt, oder farbige Pulver nach den Verhältnissen wie sie durchs Spectrum geboten werden, oder endlich einen grauen Körper, wie er eben charakterisirt wurde, betrachtet, so ist dies thatsächlich immer dasselbe: dort ist der Körper nur zum Theil fähig, das Licht zu reflectiren; im zweiten Falle ist jede Partikel auf eine andere Weise fähig nur einen Theil des weissen Lichtes durchzulassen, doch so, dass eine Ausgleichung stattfindet und in den Verhältnissen seiner Bestandtheile nichts geändert wird; im letzten endlich haben alle Körpertheilchen gleichmässig die Fähigkeit dem weissen Lichte einen Theil zu entziehen, doch ohne seine Zusammensetzung zu alteriren. — Dies Raisonnement kann dann auf farbige und schwarze Körper ausgedehnt werden.

[25] Wenn Newton in einem Briefe an Oldenburg (*Horstley edit. of Newton's works*, IV, 303) sagt, dass man durch Mischung zweier in der Reihe der prismatischen Farben nicht zu weit entlegenen Töne einen mittleren erhält, so ist dies wie alles andere, was seitdem von Wollaston, Young, Biot, Wünsch etc. über diesen Gegenstand beobachtet und geschrieben wurde, keine Widerlegung des allgemeinen, oben ausgesprochenen Satzes, da die Empfindlichkeit des Auges hier nicht entscheiden kann, wo andere Hilfsmittel, wie Brechung, Absorption, Beugung u. s. w., den deutlichen Beweis liefern, dass das Auge für die Sättigung und Reinheit der Farbentöne nicht die höchste Autorität ist.

[26] Forbes macht mit Recht darauf aufmerksam, dass man eigentlich mit Unrecht, von unserem heutigen Gesichtspunkte aus, noch von sieben Farben spricht: *perhaps it is not presumptuous to say, that but for some peculiar respect for the number 7, and more particularly from a fancied analogy between the*

spaces occupied by the colours and musical intervals Newton would not have classed blue and indigo as distinct colours. Man wird daher richtiger nur von sechs Hauptfarben sprechen.

[27]) Es ist das kein neuer Gedanke; denn schon Lambert („Daraus, dass sich die prismatischen Farben stufenweise in einander verlieren, folgt, dass davon weder die 7 Newton'schen noch mehrere von Anderen angegebene Farben sich eigentlich als Grundfarben ansehen lassen") und d'Alembert (Opusl. c. III, 393) sprechen es klar aus, und zumal hat noch kein Anhänger der Undulationstheorie eine abweichende Ansicht aufgestellt; wenn aber trotzdem berühmte Autoren erklären können: „die Lichtwellentheorie zählt zwar 7 selbstständige Farben, da sie aber Orange und Violett doch auch als Übergänge, jenes zwischen Roth und Gelb, dieses zwischen Roth und Blau fassen muss, da sie ferner Hellblau und Dunkelblau (Indigo) als zwei Farben zu unterscheiden müssig ist — wesshalb die meisten lieber nur sechs zählen — so bleiben als Hauptfarben Roth, Gelb, Blau und Grün; da aber das Grün auch hier als Mitte von Gelb und Blau gefasst wird, so kann sie drei Hauptfarben zählen: Roth, Gelb und Blau und das Grün als vierte auffassen oder nicht" — (Vischer, Ästhetik, II, p. 43), so dürfte es nicht überflüssig sein hervorzuheben, dass die Undulationstheorie in dieser Frage ganz anders entscheidet. Es ist auf das Problem der einfachen Farben viele Zeit und Mühe verschwendet worden und die ganze Frucht ist eine reinere Nomenklatur, aber keine Aufklärung über die Natur der Farben.

[28]) Dass das Spectrum noch farbig ist ausserhalb der gewöhnlich gesehenen Grenzen, ist zu verschiedenen Zeiten beobachtet worden, z. B. Fraunhofer (Gilbert's Annalen LVI, 301), Herschel (*Philos. trans. Ed. Soc. IX*); ich glaube aber nicht, dass jenseits einer Wellenlänge von 700 noch ein homogenes Licht sichtbar ist.

[29]) Poggendorff's Annalen, L, 453 ff.

[30]) Poggendorff's Annalen, LXXXVII, 496. Compt. rend. XXXV, 373.

[31]) Helmholtz in Poggendorff's Annalen, LXXXVI, 501. Bernard in Ann. ph. chem., XXXV, 385. — Vergl. Moigno, Cosmos, II, 491, der eine übersichtliche Darstellung der angreifbaren Punkte in den Brewster'schen Schlüssen gibt, und die 59. Note des ersten Abschnittes dieses Aufsatzes, Sitzungsberichte Bd. XII.

[32]) *Qu.* 13, 14. Vergleiche Malbranche, *Réflexions sur la lumière et les couleurs et la génération du feu. Mém. de l'Acad. royale,* 1699.

[33]) Vergl. Note 58 des ersten Abschnittes.